

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
—COMISION DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS—
—FACULTAD DE AGRONOMIA—

HIDROGEOLOGIA DE LOS BASALTOS DEL NW URUGUAYO

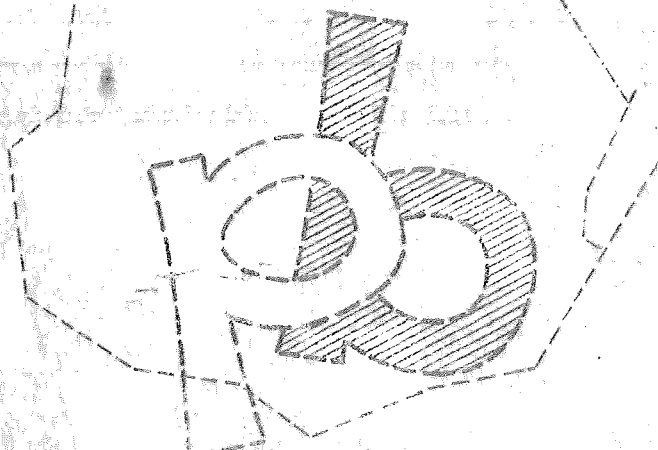
Programa:

CARACTERIZACION
DE SUELOS BASALTICOS
DEL URUGUAY

J. BOSSI - R. SACCONI (h)

A. HAUSMAN

A. FERNANDEZ



MONTEVIDEO - URUGUAY
JULIO 1967

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
COMISION DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
FACULTAD DE AGRONOMIA

H I D R O G E O L O G I A
D E L O S B A S A L T O S
D E L N W U R U G U A Y O

A. HAUSMAN -
A. FERNANDEZ -
1967 -

Colaboraron:

H. Orecchia
A. Ratcheff
J. Ledesma
A. Acosta

ESTRUCTURA GEOLOGICA

- Estructura del Predevoniano
- Estructura del Gondwana
- Estructura de los Basaltos
- Estructura de los Sedimentos Supra-basálticos

TECTONICA

- Líneas estructurales
- Líneas de falla
- Ejes tectónicos
- Edad de la fracturación
- Interpretación de la tectónica

V.- GEOMORFOLOGIA

(42)

EVOLUCION GEOMORFOLOGICA

- Fase Pre-epeirogénica
- Fase Post-epeirogénica

ACOMODACION DEL DRENAJE

VI.- HIDROGEOLOGIA

(46)

REFLEJOS HIDROGEOLOGICOS DE LA LITOLOGIA

- Aspectos hidrogeológicos de las areniscas de Tacuarembó.
- Aspectos hidrogeológicos de los basaltos
- Aspectos hidrogeológicos de las formaciones Suprabasálticas

ZONEAMIENTO HIDROGEOLOGICO

- Provincia Tacuarembó
- Provincia Basáltica
- Provincia Cretácea

VII.- CONCLUSIONES GENERALES

(78)

RECOMENDACIONES

VIII.- BIBLIOGRAFIA

(79)

-APENDICE-

I. INTRODUCCION

1.1 - FINALIDADES

En este trabajo se exponen los resultados de una pesquisa preliminar que tuvo como objetivo, apreciar la extensión y naturaleza de los problemas hidrogeológicos que afectan el área basáltica uruguaya.-

Esta investigación forma parte de un programa mucho más amplio, desarrollado por Facultad de Agronomía con el apoyo financiero parcial de la Universidad de la República, en el cual se busca definir las características y posibilidades de los suelos basálticos de Uruguay.-

Este trabajo debe ser considerado en su conjunto como una primera fase del estudio Hidrogeológico de los Basaltos Uruguayos, donde todo el esfuerzo se ha centrado en la calificación de los problemas, dejando intencionalmente a un lado, la cuantificación de los acuíferos. Es sabido, que el comportamiento Hidrogeológico de las rocas efusivas, escapa a los padrones normales de trabajo, y que áreas con estas características deben estudiarse más en base a la tectónica y la estratigrafía, a través de una investigación sistemática de las diaclasas, que de la cuantificación de los acuíferos.-

La fase de cuantificación, solamente toma expresión una vez definidas todas las características geológicas de la circulación del freático por entre las fisuras. Toma en consecuencia, más importancia, la definición de las características hidrogeológicas de diferentes zonas, y la técnica de localización de los puntos o áreas de máximas posibilidades en cuanto al abastecimiento de agua potable, tanto para poblaciones rurales como urbanas, como eventualmente para otros fines.-

1.2 - METODO DE TRABAJO

El planeamiento de este trabajo, se orientó teniendo en cuenta los siguientes elementos.

- falta absoluta de trabajos hidrogeológicos relativos al área basáltica uruguaya, y en consecuencia, desconocimiento de las características de circulación del agua en los mismos.-
- inexistencia de una norma definida en relación a la circulación y comportamiento hidrogeológico del agua en rocas fisuradas, que como hipótesis de trabajo se presumió el caso del basalto, lo que determina la búsqueda de métodos especiales de trabajo.-
- tratándose de rocas fisuradas, el estudio tectónico ocupa una posición predominante, dado que número extensión y frecuencia

de las juntas, son fundamentales en la definición de las posibilidades Hidrogeológicas.-

- El desconocimiento de las zonas de recarga en estas rocas, principalmente tratándose de basalto en el que el manto de descomposición arcilloso, presenta alto índice de impermeabilidad.- El estudio de este aspecto debe ser hecho en base a observaciones integradas en lo que tiene relación a descarga superficial y oscilación de niveles de agua en pozos de observación.-
- La inaplicabilidad de fórmulas climáticas que tengan valor para esta porción de nuestro continente ya que la mayoría de ellas fueron creadas para el hemisferio norte, por lo que se hace necesario adaptaciones que deberán ser comprobadas en la práctica.-
- El desconocimiento total de dos elementos importantes del Ciclo Hidrológico: la evapotranspiración y la infiltración, esta última de capital importancia para la evaluación del aporte a los acuíferos.-

En base al carácter preliminar del trabajo el presente estudio no significa una palabra final y concluyente sobre el asunto, sino solamente el enfoque y la definición de los principales problemas. No obstante ha sido posible establecer las normas a seguir para el desarrollo de futuros trabajos a efectos de llegar a conclusiones más efectivas del problema, con datos cualitativos y cuantitativos, capaces de dar una contribución verdaderamente precisa al planeamiento global.-

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto orientamos nuestra pesquisa en el sentido de resolver los siguientes aspectos:

- Levantamiento de los pozos existentes en el área en estudio a fin de aquilatar:
 - los caudales medios
 - los niveles de contribución
 - carácter litológico de la roca acuífera
 - vía de circulación de agua en basaltos
 - profundidad media de los pozos
- Levantamiento a través de los fotoíndices, de las líneas tectónicas más importantes con la finalidad de verificar:
 - localización de las principales líneas de fractura del área
 - correlación entre las líneas tectónicas y el rendimiento de los pozos
 - estructura geológica inferida para la previsión de futuras perforaciones

- Separación de zonas de diferentes posibilidades hidrogeológicas
- Levantamiento de los datos climáticos e hidrológicos a fin de:
 - - definir el comportamiento de las precipitaciones
 - definir el balance temperatura-precipitación
 - verificar la correlación entre flujo superficial e infiltración.-
- Verificar las características químicas de las aguas a fin de:
 - establecer la posibilidad de agruparlas en familias de características químicas
 - definir si es posible la probable área de percolación

1.3 - AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue posible gracias a la colaboración franca, cordial e imprescindible de varios institutos oficiales y privados, a los cuales expresamos nuestra mayor gratitud. Del Instituto Geológico del Uruguay, a través de su Director Ing. J.H. Caorsi, recibimos el más franco apoyo, poniéndonos a disposición todo el material informativo y de museo así como gentilmente nos cedió personal auxiliar para realizar tareas de recolección de datos. La Dirección General de Meteorología del Uruguay nos facilitó todos los datos climáticos, recibiendo por parte del Prof. Battioni un caudal de informaciones inestimables. La Dirección de Hidrografía nos facilitó todos los datos hidrográficos disponibles, y recibimos un franco apoyo por parte del Ing. Palace. ANCAP, nos facilitó los datos estratigráficos de los pozos perforados en el área, habiendo recibido una acogida franca por parte del Ing. Mackinnon. COPERPOA, Compañía particular de perforaciones, a la que estamos singularmente agradecidos, puso a nuestra disposición todas las informaciones acumuladas en su larga experiencia, A OSE, que a través del Agr. Galmarini, nos facilitó datos de análisis químicos de aguas del área basáltica, también presentamos nuestro agradecimiento.-

Dentro de la Facultad de Agronomía obtuvimos un apoyo y colaboración completa de todos los sectores. El Prof. Orecchia y sus Ayudantes realizaron los estudios de clima. El Asistente de la Cátedra de Hidrología, A. Acosta, realizó los estudios de las aguas superficiales y finalmente el Prof. J. Bossi, dentro de cuya Cátedra funcionó la pesquisa hidrogeológica del Proyecto Basalto, dió sus mejores medios materiales y personales para llevar a cabo este trabajo.-

El Programa de Suelos del Ministerio de Ganadería y Agricultura a través de su Director Ing. Oscar López Taborda nos facilitó todos los elementos a su disposición para la ejecución del trabajo.-

Quedan registrados nuestros agradecimientos a todos los que directa o indirectamente cooperaron para la buena marcha del trabajo, que lejos de ser un esfuerzo individual es fruto de un equipo formado por colaboradores esforzados.-

II. ASPECTOS GEOGRAFICOS

2.1 - SITUACION

El área estudiada ocupa prácticamente el cuadrante NW del país delimitado al Norte por el río Cuareim, al Este por una escarpa que se extiende desde Rivera hasta Rossel y Rius, al Sur por los ríos Negro y Yí, y al Oeste por el río Uruguay.-

Queda prácticamente encuadrada entre los paralelos $30^{\circ}10'$ y $33^{\circ}20'$ de latitud, por tanto dentro de un área de aproximadamente 3 grados de paralelo, extendiéndose unos 330 Kms. en el sentido NS y entre los meridianos $55^{\circ}30'$ y $58^{\circ}10'$ (longitud W) lo que le da unidad desde el punto de vista geográfico, especialmente en lo relativo al clima.-

El área constituye una unidad geográfica tanto desde el punto de vista geomorfológico como geológico o de ocupación humana.-

2.2 - RELIEVE E HIDROGRAFIA

El relieve del área es bastante uniforme, reflejando en cierta forma las influencias estructurales con una hidrografía bastante controlada por esa estructura.-

Las formaciones geológicas dan al relieve sus principales líneas directrices, coincidiendo los bordes de las escarpas con las formaciones más duras, tales como basaltos o techos sedimentarios silicificados. El buzamiento de los estratos geológicos, da al conjunto las posiciones altimétricas, coincidiendo las partes más altas del terreno con el techo de los estratos y las porciones más bajas con las direcciones de los buzamientos.-

Morfológicamente se puede definir el área como una Cuesta estructural en la acepción clásica del término, presentando una superficie fuertemente inclinada para el este en forma de escarpa, cuyo desnivel va disminuyendo gradualmente hacia el sur, formando el frente de la cuesta, y el reverso con pendiente suave hacia el W acompañando a groso modo el buzamiento de los estratos. En los alrededores de Laysandú, una cuenca sedimentaria buzante también para el río Uruguay, da origen a una escarpa en cierta forma concéntrica a la anteriormente referida.-

En grandes líneas, la estructura define un plano inclinado que presenta altitudes del orden de los 350 mts. en el N. y disminuye gradualmente hacia el sur hasta aproximadamente unos 200 mts. al sur de Tacuarembó. Hacia el W la altitud disminuye acompañando el buzamiento hacia el río Uruguay donde llega a valores del orden de 12 mts. sobre la barranca del río.-

El drenaje del área presenta una respuesta bien definida a esa disposición estructural. Todo el drenaje de una forma u otra es afluente del río Uruguay el cual es el gran colector de agua del área en estudio. Ningún río de esta zona, drena directamente para el Atlántico, quedando todos ellos circunscriptos a una misma cuenca hidrográfica general.-

Desde el punto de vista de la acomodación en la estructura, pueden definirse los siguientes tipos de drenaje en el área:

-Drenaje Consecuente. Casi todos los ríos que corren sobre la cuesta son consecuentes, con sus cursos de agua principales drenando en la misma dirección del buzamiento estructural. Dentro de este grupo, están el Cuareim, Arapay, Daymán, Negro, etc. El río Negro a pesar de tener sus nacientes fuera del área, y muy alejadas del borde de la cuesta, con sus cursos superior y medio superior sin características de río consecuente, posee sin embargo esas características cuando cruza el basalto y se superpone a él.-

-Drenaje Subsecuente. Este drenaje está representado por los mayores y menores cursos de agua, correspondiendo a los dos extremos de grandeza del drenaje regional. El río Uruguay presenta un típico drenaje subsecuente corriendo paralelo a la dirección de los estratos, en lo que es acompañado por los drenajes de 4a. y 5a. magnitud, afluentes y formadores de este gran río.-

-Drenaje Resequente. Este drenaje está compuesto por los ríos que descienden la escarpa con rumbo al Este, en dirección contraria al buzamiento de las canchales. En general son ríos de cursos cortos afluentes de los cursos subsecuentes del área sedimentaria Gondwánica situada al E de la escarpa, como el río Tacuarembó, A^o B toví, A^o Malo, etc.-

Todos los ríos del Sistema de drenaje considerado presentan un curso permanente, reflejando de forma bien definida las condiciones climáticas. Solamente los ríos de pequeños cursos presentan flujo temporario, secando durante los períodos de déficit de pluviosidad.-

2.3 - CLIMA

Es bastante difícil la definición del clima regional ya que muchos factores convergen para esa complicación, sin embargo, se pueden presentar a groso modo características generales.-

Según la clasificación de Köppen internacionalmente adoptada, nuestro clima sería del tipo Cf, o sea Mesotermal, con lluvias distribuidas en todo el año. Una observación crítica muestra que esta clasificación no resulta enteramente satisfactoria, principalmente a consecuencia de las variaciones introducidas por la altitud y la continentalidad.-

El borde de la Cuesta, ejerce en cierta forma el papel de barrera para las corrientes de aire provenientes de litoral, determinando un aumento de continentalidad para el W de la misma, (con una acentuación hacia el N-W), sobre todo en zonas próximas al área donde el relieve de la cuesta es mayor.-

Las precipitaciones decrecen de N a S y de E a W, habiendo una reducción en las direcciones referidas del 1.400 mm. a 1.150 mm. El eje de reducción pluviométrica máxima sigue la dirección NE-SW, con las máximas medias en las áreas de mayor altitud.-

Las temperaturas por el contrario, tienden a aumentar en la dirección del decrecimiento de las lluvias. Las temperaturas medias más bajas, corresponden a las zonas de mayor altitud disminuyendo en dirección al SW. Las temperaturas medias del mes más frío oscilan en torno a los 12 grados centígrados y las del mes más caliente en torno a los 25,5°C. En función de la relativa proximidad del mar y del relieve poco acentuado, el efecto de continentalidad resulta menos marcado.-

A groso modo pueden diferenciarse dos subtipos climáticos:

- Cfah Mesotermal con veranos calientes e inviernos suaves
- Cfab Mesotermal con veranos calientes e inviernos más rigurosos

En esta distribución climática el efecto de altitud y de la proximidad del mar son más importantes que la latitud, debido a la pequeña extensión longitudinal del área.-

2.4 - VEGETACION

La zona basáltica en grandes líneas puede dividirse en 3 zonas de vegetación, que a los efectos del presente trabajo se denominan del Algarrobal, Pradera Compleja, y Monte Mixto. La vegetación de estas zonas en términos generales ofrece características semejantes a las de la Mesopotamia Argentina a lo largo del río Uruguay y Provincia Río Grandense hacia el norte y el este.-

El Algarrobal. La Mesopotamia Argentina (porción occidental de la provincia fito geográfica uruguayense), rebasa hacia el este el río Uruguay y ofrece las asociaciones características de la zona que denominamos Algarrobal, en la porción occidental de la zona basáltica. La formación característica de esta zona es el monte de "Algarrobos". Este presenta un definido carácter geográfico desarrollándose en suelos aluviales estacionalmente secos y periódicamente inundables, o en lugares donde la napa freática mantiene determinada profundidad. Se superpone frecuentemente al tapiz característico de los campos altos o se mezcla con el bosque marginal del río Uruguay y sus tributarios. Tanto las asociaciones marginales de los cursos de agua, como el Algarrobal que aparece a cierta distancia del cauce, dan paso a niveles más altos del terreno que se extienden más al este, a la formación de pradera que constituye la zona siguiente.-

Pradera Compleja.-La zona a la cual denominamos pradera compleja en la porción central del área basáltica es una formación pratense, establecida en los terrenos progresivamente más altos hacia el norte y el este sobre el reverso de la cuesta basáltica. Esta formación pratense, difícil de encasillar en las clasificaciones convencionales, presenta diferencias apreciables en su aspecto y composición, de acuerdo con la topografía y la profundidad de los suelos superponiéndose al este y sur-este, a la formación que constituye la zona de Monte Mixto.-

La escarpa que limita por el este la zona basáltica determina que en sus serranías asperezas y gargantas, se desarrolle una vegetación muy distinta a la de la pradera basáltica.-

Monte Mixto.-En esta zona que denominamos monte mixto desarrollado en la porción oriental del área basáltica, la vegetación muestra un marcado cambio con la del reverso de la cuesta. La pradera que constituía la zona anterior, en la proximidad de la escarpa, da paso a una vegetación marcadamente xerófita; en las quebradas y gargantas, predominantemente de dirección E-W se desarrolla un matorral denso cuyos integrantes aumentan en general de talla a medida que van ocupando hacia el E niveles topográficos más bajos. Al pie de la escarpa y determinado por la condición de clima local que ella establece, aparece el típico bosque serrano, formación característica de esta zona, de riqueza florística apreciable y

donde ocurren especies propias de la flora Riograndense.-

Desde el punto de vista que interesa al presente trabajo, cabe recordar:

1º) La acción antropógena y el pastoreo han alterado profundamente la vegetación natural, de tal manera que las zonas nombradas han sido delimitadas en función de condiciones fisiográficas semejantes a la de los relictos o zonas de menor alteración.-

2º) Es interesante tomar como especies indicadoras, aquellas que presentan individual o colectivamente, caracteres de Freatófitas; a tales efectos creemos que los integrantes del denominado "Algarrobal" (individuos aislados, asociaciones poco alteradas, relictos), son los que ofrecen mejores posibilidades.-

III. CICLO HIDROLOGICO

El ciclo hidrológico constituye uno de los elementos esenciales para la evaluación de las posibilidades hidrogeológicas de una región, una vez determinadas las características geológicas que regulan las condiciones de circulación y almacenamiento de agua.-

No fue posible hacer un análisis completo del ciclo hidrológico por falta de datos básicos para la evaluación de los elementos constitutivos del mismo. Si bien pudo disponerse de datos de precipitación y temperatura de los cuales se pudo establecer en forma cualitativa el balance precipitación-temperatura, faltaron datos relativos a evaporación-infiltración. Los datos hidrográficos de que se dispuso fueron muy incompletos y poco confiables a más de referirse apenas a un único río del área (Arapey) por lo que solo se han tomado en carácter cualitativo.-

En los parágrafos que siguen se analizan con cierta extensión los aspectos climáticos del Ciclo Hidrológico, pues se ha dispuesto de suficientes datos como para llegar a conclusiones significativas.-

3.1 - PRECIPITACION

La observación de los datos de precipitación, muestra que el área se presenta con una distribución relativamente homogénea en lo que respecta a las medidas normales mensuales de lluvias, con un aumento en el volumen precipitado en los meses más calientes y una disminución en los meses más fríos.-

Esa distribución aparentemente homogénea, no es tan efectiva, cuando se observan los datos anuales. Verifícase, que las lluvias son bastante irregulares en el volumen precipitado, durante los meses de varios años sucesivos; irregularidad esa, homogeneizada por las medias.-

Las medias anuales presentan un aumento en sus totales de S a N y de W a E, con un máximo en Rivera (1507.8 mm) y un mínimo en Mercedes (1011.4 mm); habiendo una diferencia de un orden de 47% entre los dos extremos:-

Los gradientes de precipitación entre las estaciones analizadas son los siguientes:

- Mercedes - Paso de los Toros,	152 mm.
- Mercedes - Paysandú,	174 mm.
- Mercedes - Salto,	164 mm.
- Mercedes - Rivera,	497 mm.
- Mercedes - Artigas,	321 mm.

El gradiente medio de la precipitación es de 166 mm. por grado geográfico en dirección S - N; partiendo de Mercedes, y de 105 mm por grado geográfico en dirección SW-NE a la altura de Salto.-

El aumento de la precipitación para el norte está explicada por la mayor permanencia de Frente Polar en la porción septentrional del área; además de tener sobre ella la influencia del relieve; el cual si bien es poco pronunciado (350 mts.) siempre se comporta como una barrera retentora de humedad; haciendo que las áreas de mayor precipitación sean coincidentes con las de mayor altitud. Ese hecho es demostrado entre Rivera y Artigas.-

Localidad	Precipitación en mm.
Artigas	1.332 mm.
Rivera	1.507 mm.

Ambas ciudades están situadas en la porción norte del país lo que favorece una precipitación elevada, pero Rivera en particular recibe mayor volumen del área por estar situada en la parte frontal de la cuesta.-

3.11 - Variación mensual de la precipitación

La variación estacional de la precipitación se hace sentir de forma marcada en la curva de precipitación de las estaciones meteorológicas del área.-

Las precipitaciones más pronunciadas se dan al N de Salto en abril y octubre, y al S de la misma ciudad en marzo y octubre. En todas las estaciones observadas aparece un pico secundario de máxima precipitación en junio.-

Otro hecho observado es que Salto y Rivera presentan sus máximos en octubre en tanto que otras estaciones en marzo y abril.-

La explicación de este hecho está ligada al movimiento del Frente Polar que se presenta más estacionario en octubre en la zona más septentrional, y en marzo y abril más hacia el sur.-

El mes de temperatura más baja se presenta con un mínimo de precipitación, pues en ese mes la masa Polar, domina sobre el país y el Frente Polar está localizado muy al N dentro de Brasil.-

Las precipitaciones de los meses más calientes son más elevadas que las de los meses más fríos, hecho influenciado por la permanencia de la masa Tropical Atlántica y la masa Tropical continental que provoca en esa área lluvias de convección, que son generalmente de pequeña duración, pero muy intensas.-

Las diferencias de precipitación entre los meses de máxima y mínima son del orden de 87 mm., lo que corresponde a una diferencia porcentual de un 43%.-

3.2. - TEMPERATURAS.

En grandes líneas, el área en estudio presenta características térmicas relativamente homogéneas.-No obstante, existen ciertas diferencias en estas características para los diferentes puntos del área, que deben considerarse significativas.-

Las temperaturas medias anuales varían entre 17°5 y 20°5, presentando un gradiente bien definido de N a S, lo que configura una tendencia general que también se manifiesta para las temperaturas máximas y mínimas medias.-

En el verano, se nota un incremento continuo de las temperaturas medias hacia el N sobre un eje de orientación NS, situado entre el Río Uruguay y el frente de la Cuesta, aunque más próximo al primero.-

En la cuesta, las temperaturas crecen en esta estación desde el frente hacia el W hasta alcanzar el eje mencionado, para decrecer luego hacia el Río Uruguay con un decremento algo pronunciado.-

//

Este decrecimiento es debido al efecto de amortiguación térmica del Río Uruguay, que tiende a ser máximo en la estación de temperaturas elevadas.-

En el mes de enero -culminación del verano- las temperaturas medias varían entre 25° y 27°C.- Las menores temperaturas se notan al W, en la confluencia de los ríos Negro y Uruguay, y en la zona de influencia del lago artificial de Rincón del Bonete, debido al efecto de amortiguación ya señalado. Las mayores temperaturas medias, están localizadas en el extremo N del área, sobre las márgenes del Río Cuareim, al N de los poblados de Topador y Bernabé Rivera, correspondiendo a un claro efecto de latitud.-

La temperatura máxima media más alta del mes de enero es de 32°6 C y corresponde a la Estación Meteorológica de Artigas, en tanto que la más baja es de 30.9° C en Paso de los Toros, lo que confirma las características térmicas indicadas para el área.-

En el invierno se mantiene la distribución general de temperaturas definiendo un incremento constante de temperaturas hacia el N, pero sin aparición de los efectos de amortiguación térmica del Río Uruguay.-

En julio, las temperaturas medias varían entre 11°5 y 14°5 C.-

3.3 - BALANCE HIDRICO

Todas las fórmulas aplicables al Balance Hídrico son de carácter teórico por lo que arrastran cierto margen de error a veces bastante amplio, en su aplicabilidad.-

A los efectos del presente trabajo y dados los resultados satisfactorios obtenidos con la misma en Río Grande del Sur, se ha utilizado la fórmula de Emberger ligeramente modificada.- Esta fórmula define un cociente de precipitación Q, que permite estimar relativamente, los meses con déficit de pluviosidad:

$$Q = \frac{K \cdot \bar{p}}{(T_M - T_m) (T_M + T_m)}$$

En esta expresión:

K Coeficiente empírico (igual a 12 en éste trabajo).-

\bar{p} Precipitación mensual media tomada sobre un período de años suficientemente largo

T_M Temperatura mensual media de Máximas, tomada sobre el mismo período de años
que \bar{p} .

//

T_m Temperatura mensual media de mínimas, tomada sobre el mismo período de años.-

Mediante esta fórmula se han definido los valores de Q para los doce meses del año y para cada estación importante de la zona, teniéndose así una idea clara de la distribución regional y mensual de los déficit de pluviosidad.- El valor mínimo del coeficiente Q , que marca el límite de períodos con déficit de pluviosidad ha sido establecido en base a la experiencia climática regional de los pobladores de la zona

3.31 - Factores que influyen en el balance.

Los factores que influyen en los efectos de la relación lluvia/temperatura, especialmente resaltando las consecuencias del déficit de pluviosidad, están estrechamente relacionados a elementos topográficos, geológicos y a las características de variabilidad de la intensidad de la precipitación.- Estos elementos inciden de distintas formas según se verá en lo que sigue.-

-Incidencia de Suelos y Topografía.- Estos son elementos cuya influencia se hace muy marcada con respecto a las posibilidades de almacenamiento de agua en la zona de saturación.- El mayor o menor volumen de agua almacenada en el suelo, representa una regulación altamente efectiva en el balance lluvia/temperatura, determinando variaciones bastante amplias en lo que respecta a la incidencia del estiaje.-

En el área en estudio, los suelos son muy superficiales salvo en aquellos lugares, en que por razones topográficas se han desarrollado suelos aluviales y coluviales.- En general el espesor de los suelos-aluviales y coluviales, de acuerdo a los datos de que se dispone, es del orden de los 10 cm. sobre los planos basálticos y no pasa de 40 cm. en los valles de pequeño desarrollo.-

El pequeño espesor del suelo determina un volumen de almacenamiento también pequeño, por lo que se manifiesta una rápida desecación del suelo consecutiva e inmediata a la aparición del déficit de pluviosidad.-

La topografía relativamente suave del área basáltica, determina un escurrimiento moderado si la precipitación no es de gran intensidad.- Este factor por lo tanto limita el carácter "torrencial" del escurrimiento, que en otras condiciones topográficas tendería a ser mucho más intenso dada la pequeña permeabilidad de la roca.-

- Incidencia de lluvia y temperatura.- Calculados teóricamente en base a los períodos de lluvia, los índices no determinan //

//un período de estiaje claramente definido, pero la observación de la variación de los niveles de los cursos de agua, indica claramente un período con deficiencias de precipitación, lo que se comprueba también por la disminución e interrupción de las surgencias así como por el aspecto de la vegetación.-

El déficit se manifiesta claramente en las estaciones calurosas en las cuales se observan las mayores oscilaciones térmicas conjuntamente con los mayores valores de las máximas.-

Las discrepancias entre los índices calculados teóricamente, y las observaciones, se deben a la irregularidad de las precipitaciones, irregularidad que no aparece cuando se trabaja con valores promedios.- Los efectos de estas irregularidades son agudizados por las variaciones positivas de la temperatura en relación a la normal, lo que se manifiesta especialmente en la estación calurosa.-

En los períodos fríos, el estiaje es menos evidente, a pesar de la disminución de la precipitación, manifestándose solamente cuando se verifican situaciones excepcionales de precipitaciones muy inferiores a las normales.-

La observación de la descarga del río Arapey (con las reservas del caso), muestra que en los meses calurosos el flujo básico se establece con precipitación inferior a 55 mm., en tanto que en los meses fríos este fenómeno ocurre para precipitaciones del orden de los 20 mm.

Los índices de variabilidad de lluvia y temperatura respecto a sus valores normales (medios), son muy elevados, por lo que los coeficientes establecidos en función de los promedios no dan una idea clara de las oscilaciones ni de la frecuencia con que se registran situaciones anormales.- No se han determinado índices de variabilidad por carecer de información suficiente.-

3.32 - Cociente de precipitación.-

Se ha determinado el cociente de precipitación en base a la fórmula de Emberger, con un coeficiente $K = 12$, produciendo adaptarla a las condiciones regionales y a la información de que se dispuso.-

Se tomó el valor 2.5 como coeficiente mínimo por debajo del cual los arroyos pasan a funcionar por debajo del flujo básico.- En el Cuadro I adjunto, se indican los valores del cociente de precipitación para las distintas estaciones del área, resáltandose los meses en los cuales se verificaron coeficientes inferiores al citado.- A los efectos de estimar la posibilidad de que el período con déficit de agua //

CUADRO I

COCIENTES DE PRECIPITACION

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ARTIGAS	<u>1.9</u>	<u>1.8</u>	<u>2.5</u>	3.6	3.3	5.4	3.3	<u>2.2</u>	4.0	4.2	<u>1.6</u>	<u>2.0</u>
SALTO	<u>2.0</u>	<u>1.2</u>	2.6	4.4	3.0	5.3	2.8	<u>2.2</u>	3.4	3.6	<u>2.2</u>	<u>1.5</u>
PAYSANDU	<u>2.1</u>	<u>2.0</u>	3.4	3.2	2.8	4.0	2.6	3.0	3.3	3.1	<u>1.2</u>	<u>1.6</u>
MERCEDES	<u>1.7</u>	<u>1.7</u>	3.0	2.8	2.8	3.8	<u>2.4</u>	3.2	3.0	2.9	<u>2.0</u>	<u>0.7</u>
RIVERA	<u>2.4</u>	<u>2.0</u>	2.9	4.2	4.2	7.4	5.2	3.6	<u>5.3</u>	5.2	<u>1.8</u>	<u>1.8</u>
PASO D E LOS TOROS	<u>2.1</u>	<u>2.0</u>	3.1	3.4	3.5	5.6	3.5	4.2	4.1	3.0	<u>1.2</u>	<u>1.6</u>

// se extienda, también se han marcado aquellos meses para los cuales $10 Q$, es inferior al valor de la sumatoria de los cocientes para todos los meses del año.-

La representación cartográfica de la amplitud del período de meses consecutivos con déficit de pluviosidad, es bastante coincidente con la distribución de las zonas de vegetación definidas en el parágrafo 2.4.

Del análisis de Cuadro I surge claramente que en la estación cálida existe déficit de precipitaciones en toda el área, especialmente en el Norte, notándose cierta disminución hacia el SE. Puede notarse también una disminución sensible de los valores del cociente en los meses de julio y agosto, sobre todo en la zona comprendida entre Salto y Artigas, en las que pueden ocurrir años con claros déficits de precipitaciones en estos meses.-

La magnitud de los déficits determinados en base a este cociente -de valor cualitativo- varía de acuerdo a las anomalías meteorológicas anuales, e inclusive su incidencia, depende de las condiciones locales del suelo, geología y topografía, como fué señalado en el parágrafo anterior.-

IV. GEOLOGIA

La geología de esta área, es relativamente simple, correspondiendo a los basaltos de Arapey la mayor extensión en superficie.- La cuenca crétacea que se desarrolla al SW del área considerada, constituye en importancia la segunda unidad geológica por su extensión superficial.- Las restantes unidades sedimentarias supra-basálticas, son Mesozoicas y ocupan menor extensión que las anteriores. Las formaciones más importantes ocupan aproximadamente las siguientes superficies:

- basaltos de Arapey 45.880 Kms²
- sedimentos Cretáceos y Mesozoicos 12.300 Kms²

4.2.- COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERAL

En el área en consideración, las formaciones Gondwánicas y el basalto desarrollan considerables potencia, llegando entre ambas a totalizar más de 2.000 mts. en el W, sobre el río Daymán.- La potencia de estas formaciones, especialmente las sedimentarias, disminuye hacia el E/donde presentan con frecuencia discontinuidades estratigráficas.- La secuencia estratigráfica regí al completa se desarrolla en el Cuadro II.-

Cuadro II

E r a	Período	Grupo	Formación
C E N O Z O I C O			Salto Fray Bentos Queguay (∧)
M E S O Z O I C O	sup Cretáceo inf		Asencio Mercedes Guichón Arapey
D I C O	Triásico		Tacuairembó
P A L E O Z O I C O	Permiano Devoniano	Caraguatá(∧) Durazno	Yaguarí Paso Aguiar Mangrullo Frayle Muerto San Gregorio-Tres Islas La Paloma Cordobés Cerrezuolo

P r e d e v o n i a n o

(∧) Las unidades marcadas con asterisco no interesan mayormente a los efectos del presente trabajo.-

4.21 - Predevoniano

Está formado esencialmente por granitos y migmatitas sobre las que se apoyan discordantemente las formaciones sedimentarias de positivo interés hidrogeológico.

//

Constituye un zócalo fallado, y litológicamente heterogéneo, que aún no ha sido estudiado más que localmente.-

4.22 - Devoniano.-

Los depósitos del Devoniano constituyen una unidad estratigráfica para la que BOSSI(1966), propuso el nombre de Grupo Durazno.- Este grupo se desarrolla con un espesor máximo conocido, de 266m. y está integrado por tres formaciones que respetando su posición estratigráfica son:

- c - Areniscas de La Paloma.- Desarrollan escaso espesor, y se apoyan concordantemente sobre la formación Cordobés.- Son areniscas de grano fino, bien seleccionadas, micáceas, arcillosas, finamente laminadas, de color lila característico.-
- b - Lutitas del Cordobés.- Cubriendo concordantemente la formación Cerrezuelo, se desarrollan lutitas grises o negras, caoliníticas, piritosas, muy fosilíferas, que constituyen una potente unidad estratigráfica.- Esta unidad llega a tener un espesor de 100 m.- Es frecuente en los afloramientos la presencia de lutitas rojas, a veces verdaderamente ocráceas, formadas por alteración de las piritas congénitas
- a - Areniscas de Cerrezuelo.- Formación compuesta principalmente por areniscas de grano grueso, mal seleccionadas, angulosas o subangulosas, arcóscicas o feldespáticas, generalmente arcillosas, de color blanco o rojizo.- La potencia de la formación es como máximo 150m., presentando marcadas variaciones de espesor.- El cemento caolinítico primario de esas areniscas es bastantes escaso, por lo que las mismas son en general relativamente porosas.

La única formación de importancia Hidrogeológica del Grupo Durazno es la formación Cerrezuelo, dado su grano grueso y la escasez de cemento.-

4.23 - Permiano

En el presente trabajo, se sigue para la unidad basal del Permiano, el criterio adoptado por BOSSI(1966), de considerar la existencia de una única formación: San Gregorio - Tres Islas.

//

//

Esta formación litológicamente bastante heterogénea, queda definida por una sucesión irregular de tillitas, areniscas, lutitas, lutitas vírvicas y conglomerados.-

Los miembros arenosos identificados en trabajos anteriores como Tres Islas (CACRSI-GONI, 1958), son principalmente areniscas finas y medias regularmente bien seleccionadas, con granos angulosos, cuarzo feldespáticas, de cementos arcilloso o calcáreo y con estratificación entrecruzada de típico facies fluvio-glacial.-

Dada la naturaleza de los depósitos, son frecuentes las variaciones texturales en la arenisca, sobre todo en lo referente a redondeamiento y cementación.- La cementación en estas areniscas no es muy fuerte, lo que confiere a la roca cierta porosidad.-

Las formaciones pertenecientes al grupo Caraguatá, no se incluyen en esta descripción, por no ser plausible su hallazgo en perforaciones realizadas para alumbramiento de agua en la Provincia Basáltica.-

4.24 - Triásico

El Triásico está representado en Uruguay por las Areniscas de Tacuarembó.- Estas afloran en una faja sinuosa y continua aproximadamente NS que entrando desde el Brasil por la ciudad de Rivera, se extiende hacia el S, pasando por Tacuarembó, localidad tipo donde estas areniscas están muy bien expuestas y de la que toman el nombre, extendiéndose hasta desaparecer próximo a San Gregorio, limitada por fallas en los afloramientos visibles.-

Hacia el W, las areniscas desaparecen bajo el manto de basalto, a partir del brusco accidente morfológico que marca el frente de la Cuesta Basáltica.-

Litológicamente, es una formación homogénea esencialmente areniscosa.- Las areniscas son de grano medio a fino ($\frac{1}{2}$ de 0,10 a 0,15 mm), muy bien seleccionadas, de grano redondeado, cuarzosas o cuarzo feldespáticas, de cemento arcilloso en escasa proporción, a veces calcáreo y menos frecuentemente silíceo, de estratificación cruzada prominente, medianamente friables, de color rosáceo, a veces con tonos amarillentos y aún rojizos.-

Este tipo de areniscas domina completamente en los 250m de espesor que llega a desarrollar esta formación. Ocasionalmente aparecen intercalados en ella, lentes de 0,5 a 1 m de potencia, de siltitos o lutitas arenosas, micáceos de colores verdes o violáceos.-

//

//

La buena selección de las areniscas, su tamaño de grano mediano y sobre todo el bajo porcentaje de cemento arcilloso, generalmente del orden de 10%, determinan una alta porosidad en la roca.-

En Uruguay no se han diferenciado aún dentro de esta formación, los miembros litológicos correlacionables al facies Santa María de Río Grande do Sul.-

En la zona N del Departamento de Rivera, estas areniscas muestran en el regolito de alteración, colores rojos muy fuertes por enriquecimiento local en óxidos de hierro de origen secundario.-

4.25 - Cretáceo Inferior

Aparece representado por las efusivas básicas de Arapey, constituido por derrames fisurales del tipo calmo, sin evidencias de fases explosivas, de naturaleza predominantemente toleítica, que ocupan considerable extensión.- Constituyen la parte más meridional del gran derrame basáltico que recubre en América del Sur alrededor de 1.200.000 Km² (LAINZ, 1950).-

Esta formación recubre a la arenisca de Tacuarembó, y en su borde S a formaciones anteriores.- Llega a tener en el Uruguay, un espesor máximo verificado de 995m.

La estructura de los basaltos es de típicos derrames superficiales. Las coladas reconocidas, muestran por lo general un espesor de 20 a 40m. Este espesor aumenta de Sur a Norte, habiéndose observado que por término medio es de 20 m en DURAZNO (4 observaciones), de 30 m en SALTO (7 observaciones) y de 40 a 45 m en ARTICAS (23 observaciones).- No obstante en ciertas zonas es posible encontrar espesores locales mayores o menores. En Colonia Rubio por ejemplo (Dpto. de SALTO), las coladas presentan un espesor medio, que no sobrepasa los 15 m.-

Los derrames observados hasta ahora, muestran la sucesión clásica de una colada basáltica, caracterizada por presentar en la cima y la base niveles vacuolares o amigdaloides, encajando una zona media de roca masiva de mayor desarrollo.- Los espesores de los niveles vacuolares o amigdaloides superiores son por término medio de 5 a 6 m en tanto que los inferiores son bastante menores.-

Los niveles amigdaloides están frecuentemente rellenos por minerales silíceos (cuarzo, calcedonia y/u ópalo) o calcita y más raramente ceolitas.-

Los niveles vacuolares, muestran generalmente huecos dis-

//

//

persos sin interconexión, de tamaños que varían de pocos mm. a algunos cm., presentándose frecuentemente como los amigdaloides, con color rojizo.-

En la zona de contacto entre diferentes coladas, suelen desarrollarse niveles vitrificados o lajosos.- Estos niveles no siempre concurren, encontrándose con alguna frecuencia que en coladas sucesivas el contacto se establece a través de niveles vacuolares o amigdaloides, con una soldadura perfecta entre ambos.-

Con cierta frecuencia ocurren también brechas, las que han sido especialmente observadas en el Dpto. de Artigas, donde parecen ser de dos variedades:

- a - Brechas de falla. - De colores verdosos o rojizos, muy influenciados por el color de las rocas encajantes, las que se presentan en forma de fragmentos roturados angulosos, englobados por una matriz basáltica de textura afanítica extremadamente fina, que con cierta frecuencia se presenta completamente mineralizada con calcita y ceolitas.- En este último caso, el color de la matriz basáltica suele ser rojizo.-
- b - Brechas de escurrimiento. - Caracterizadas por presentar fragmentos de la roca base, como bloques subredondeados, a veces alterados, englobados por un basalto de textura más fina, presentando con frecuencia líneas de flujo, debido a diferencias en la viscosidad del magma efluente.- En estas brechas es común la ocurrencia de bloques de basalto de distintos tipos litológicos.- Cuando ocurren mineralizaciones, son principalmente de calcita y ceolitas.-

Macroscópicamente, los basaltos son en general de color grisoscuro, gris ceniza o rojizo, de textura afanítica, menos frecuentemente microgranuda, raras veces porfírica, densos y tenaces cuando frescos.- Los diques o filones suelen presentar casi sin excepción textura ofítica, con grano visible a simple vista, careciendo en estos casos de estructuras vacuolares o amigdaloides.-

Desde el punto de vista petrográfico los basaltos pre-

//

//sentan las siguientes características:

- Mineralogía - La composición mineralógica más frecuente, corresponde a plagioclasas básicas y augita con ilmenita, magnetita y apatito como accesorios.- La plagioclasea puede presentarse tanto en fenocristales como integrando una pasta microlítica fundamental.- En los fenocristales que pueden ser homogéneos o zoneados, la composición llega a ser bastante variable, aunque por término medio corresponde a labrador.-

Los cristales zoneados presentan marcada diferencia de composición entre núcleo y periferia, habiéndose observado, por ejemplo, bordes albitico-oligoclásicos con núcleo de labrador, así como plagioclasas zonadas de borde andesínico y núcleo de bitownita (WALTHER, 1927).-

En general los félicos están representados por augita, ocasionalmente acompañada por olivina bastante transformada en iddingsita, y excepcionalmente pequeñas cantidades de honblenda.-

Los accesorios metálicos, especialmente la magnetita, suelen presentarse en esqueletos irregulares.-

- Composición química - Revelan un parentesco mayor con rangos de composición de basaltos y andesitas, predominando los primeros.- El tenor de sílice es del orden de 53.1%, variando entre valores extremos de 57 % y 51.7 %.-

Los óxidos de hierro se presentan con un promedio de 4.0% de Fe_2O_3 y 7.8% de FeO , en tanto que el óxido de manganeso es bastante más bajo con un promedio de 0.15%.-

Los resultados más importantes basados en datos de WALTHER (1927) se presentan en el Cuadro III.-

4.26 - Cretáceo Superior

El cretáceo superior se encuentra representado en esta zona por tres formaciones que de la base a la cima son: Arenisca de Guichón, Formación Mercedes y Formación Asencio.-

4.261 - Formación Areniscas de Guichón - Se apoyan en toda su extensión sobre basaltos constituyendo la formación basal del Cretáceo Superior.- Su potencia máxima es del orden de los 50 m.

Generalmente son areniscas de grano fino a medio, regularmente a bien seleccionadas, sub-redondeadas, feldespáticas, de cemento arcilloso en bastante proporción, también calcáreo.

CUADRO III

m u e s t r a s

	1	2	3	4	5	6	7	8	prom.
SiO ₂	52.28	51.90	57.05	52.27	51.67	51.43	52.02	56.41	53.13
Al ₂ O ₃	12.53	14.73	13.17	14.76	13.29	14.62	15.49	13.41	14.00
Fe ₂ O ₃	7.97	1.92	5.37	1.42	3.04	2.18	3.39	6.83	4.02
FeO	7.53	7.95	7.74	9.39	7.90	8.39	6.63	6.16	7.78
CaO	7.64	10.90	6.15	10.38	10.35	10.59	10.87	6.48	9.17
MgO	4.06	7.00	2.06	6.52	6.43	6.56	6.54	2.85	5.26
Na ₂ O	2.04	1.33	2.10	1.80	2.95	2.26	1.78	2.45	2.15
K ₂ O	2.55	0.79	2.91	1.07	2.76	1.29	0.69	2.57	1.58
TiO ₂	1.65	0.90	1.70	1.38	1.39	1.13	1.46	1.46	1.39
MnO	0.22	0.14	0.14	0.16	0.16	0.15	0.13	0.11	0.15
P ₂ O ₅	0.19	0.11	0.10	0.17	0.14	trazas	0.14	0.28	0.14
H ₂ O(+)	0.71	0.76	0.38	0.30	1.05	0.27	0.51	0.45	0.55
H ₂ O(-)	1.22	1.08	0.96	0.77	1.69	0.54	0.43	0.47	0.90

Procedencia de las muestras

- 1.- Estancia Rincón de Pérez, entre río Queguay y A² Queguay (Paysandú).--
- 2.- Filón. Estación Agronómica Bañado de Medina (Cerro Largo)
- 3.- San Eugenio (Artigas).--
- 4.- Filón. Laguna de la Tuna (Cerro Largo).--
- 5.- Filón. En la salida de Melo hacia Río Branco (R 26, Cerro Largo).--
- 6.- Filón. Laguna la Tuna (Cerro Largo).--
- 7.- Estación Achar (Tacuarembó).--
- 8.- Proximidades de Estación Tambores (Tacuarembó).--

//
o síliceo, masivas, friables o tenaces según la naturaleza del cemento, y de color rosado constante.-

Desde el punto de vista mineralógico contienen hasta 25% de feldespatos en la fracción arena, en tanto que el cemento arcilloso es exclusivamente montmorillonítico. Debe señalarse también que es característica constante de la formación, la presencia de calcáreo diseminado en la masa de la arenisca.-

Ocasionalmente presenta intercalaciones de niveles conglomerádicos de 40 a 50 cm. de espesor, formados casi exclusivamente por cantos de naturaleza sílicea, provenientes de los rellenos amigdaloides de los basaltos.- El tamaño medio de los cantos y el espesor de los lentos disminuyen progresivamente hacia el S (BOSSI et al 1963). También ocurren niveles arcillosos de poco espesor asociados a niveles calcáreos intercalados en la arenisca típica.-

La relativamente elevada proporción de cemento arcilloso de estas areniscas, y la naturaleza montmorillonítica de la misma, influyen determinando una baja permeabilidad en el material.

Los niveles conglomerádicos intercalados en estas areniscas, pueden tener importancia hidrogeológica local, pero no regional dada la discontinuidad de los mismos.-

4.262 - Formación Mercedes

Estos depósitos se extienden transgresivamente sobre los de Guichón apoyándose directamente sobre basalto en el borde de la cuenca Cretácea.-

La potencia de la Formación Mercedes, alcanza a 75 m en los alrededores de la ciudad de Mercedes.- El rasgo litológico dominante de esta formación, es la heterogeneidad de niveles, con diferencias en tamaño de grano, litificación y cemento aunque siempre dentro de tipos de rocas sedimentarias detríticas gruesas.-

Principalmente consta de areniscas conglomerádicas, y areniscas gruesas gravillosas y aún areniscas medias, mal o medianamente seleccionadas, con fracción gruesa subangulosa, a veces subredondeada, generalmente cuarzo feldespática, con cemento arcilloso, calcáreo o síliceo, o casi nalmnte sin cementación, frecuentemente muy litificadas.- Las areniscas conglomerádicas suelen ser masivas, en tanto que las gruesas y medias, generalmente se alternan determinando una estratificación granulométrica gruesa; los colores más frecuentes, son blanco, blanco verdoso y rosado.-

Los niveles de arena gruesa, relativamente bien selecciona-

//
dos y de escasa cementación, que frecuentemente se observan cargados de humedad en los afloramientos, son los de mayor importancia desde el punto de vista hidrogeológico.-

Esta formación está cubierta concordante y transgresivamente por las areniscas de Asencio, pudiendo señalarse que los miembros litológicos superiores de la Formación Mercedes, pasan insensiblemente a la arenisca normal de Asencio.-

4.263 - Formación Asencio

Las areniscas de esta formación, presentan una potencia máxima de 25 a 30 m.-

Litológicamente están caracterizadas en esta área por los mismos rasgos que se le conocen en otras zonas del Uruguay, pudiendo destacarse la existencia de dos tipos litológicos principales y un tercero accesorio (FERNÁNDEZ - TECHERA, 1965):

- Arenisca de grano medio a fino, regularmente seleccionada, de granos redondeados y despulidos, cuarzosa, con fuerte proporción de matriz arcillosa, masiva, relativamente friable y de color blanco.-
 - Arenisca de grano medio a fino, siliciferrificada, que con gran frecuencia desarrolla estructura nodular, generalmente muy tenaz y de color rojo oscuro.-
- A estos debe agregarse un tercer tipo muy característico y particular, que se desarrolla mas o menos intercalado con los niveles ferrificados en las zonas de contacto con la Formación Fray Bentos.-
- Caliza blanca, pseudo-conglomerádica, con nódulos de arenisca roja ferrificada, de 1 a 3 cm. de diámetro.-

4.27 - Cenozoico

Los depósitos del Cenozoico representados principalmente por Fray Bentos y las areniscas de Salto, se extienden discordantemente sobre Cretáceo y basalto.-

4.271 - Formación Queguay

Esta formación carece de importancia desde el punto de vista Hidrogeológico, dada su discontinuidad y escasa extensión superficial.- En este trabajo se describe brevemente, respetando su posición estratigráfica.-

Son calizas de grano muy fino, tenaces, de color blanco, con cierta proporción de cuarzo detrítico, y que presentan en carácter constante pequeñas venillas de calcedonia y/u ópalo.- Los estratos superiores de los lentes de caliza, especialmente //

//cuando ésta se apoya sobre basalto, están extremadamente silicificados, llegándose a observar a veces, la sustitución total del carb nato por sílice en toda la masa de la roca.-

Por término medio la caliza no silicificada contiene 70 de CaCO_3 .-

4.272 - Formación Fray Bentos

Esta formación se apoya discordantemente sobre las Cretáceas.- Por término medio tiene una potencia de 40 m , no pasando de los 50 m en el área estudiada, aunque en el S de Uruguay, en la fosa tectónica de Santa Lucía, llega a tener un espesor de 80 m.-

Esta compuesta por sedimentos detríticos finos o muy finos, principalmente loess o areniscas finas homogéneas y bien seleccionadas, que presentan constantemente color rosáceo-anaranjado claro y que por término medio contienen 20% de CaCO_3 (FERNANDEZ - TECHIRA, 1965).-

Frecuentemente presenta estructura celular, determinada por la existencia de nidos pardos de la arenisca o loess originales, englobados por una matriz calcárea blanquecina.- Estas estructuras celulares, al igual que las concreciones calcáreas bastante frecuentes de la formación, han sido producidas por deposición diferencial del CaCO_3 primario.-

En Paysandú, se han observado niveles de calizas silicificadas rosadas pertenecientes a esta formación, extremadamente tenaces, que suelen determinar afloramientos en grandes losas planas.-

Debe destacarse que la Formación Fray Bentos, en la localidad tipo, presenta niveles de arenisca de grano medio a fino, de 10 a 15 cm. de espesor, que aunque bien definidos son probablemente discontinuos.-

La permeabilidad de estas rocas es bastante baja, tal vez algo mayor en los niveles areniscosos anteriormente señalados, así como también en el contacto con las formaciones subyacentes.-

4.273 - Formación Salto - Raigón

En la cubeta suprabasáltica de Salto, ocurren conglomerados y areniscas conglomerádicas de la Formación Salto, que se extienden discordantemente sobre la totalidad de las formaciones anteriores.- La potencia máxima de esta formación caracterizada por la naturaleza heterogénea de sus depósitos, es del orden de 20 m.

Cuanto más próximas a las zonas centrales de los interflu-

//

//vios, las areniscas de esta formación se presentan más litificadas por cemento síliceo, destacando un marcado carácter conglomerádico.-

En los alrededores del cauce del Río Uruguay, en cambio, dominan areniscas de tamaño de grano variable, poco cementadas y de color rojo, que aparecen a veces interestratificadas con conglomerados y niveles lenticulares de arcillas verdes.- En todos los casos es característica la presencia en la base de la formación, de un sedimento homogéneo, limo arcilloso, de color verdoso.- En general en estas zonas presentan tenores de cemento más bajos que los anteriormente citados, por lo que su porosidad es correspondientemente bastante mayor.-

4.3 - ESTRUCTURA GEOLOGICA

Las líneas generales quedan establecidas por una gran estructura monoclinual de buzamientos suaves al W, afectada por fallas que han producido desplazamientos relativos verticales y basculación de bloques.-

El sustrato cristalino granítico y migmático, conforma la base sobre la cual se apoya todo el conjunto Gondwánico y post-Gondwánico.- En una pequeña zona del departamento de Durazno el Gondwana se apoya directamente sobre sedimentos Devonianos, y estos a su vez discordantemente sobre el sustrato cristalino.-

Constituyendo el área en estudio la parte más meridional del gran sinclinal Paranaense, presenta características de borde de cuenca deposicional, hecho que condiciona la existencia de características diferenciales en relación a las partes ubicadas más al N.-

4.31 - Estructura del Predevoniano

El basamento Cristalino Predevoniano define en el pre-Gondwana, una cuenca de sedimentación de forma aproximadamente elíptica, con su eje mayor ubicado groseramente a lo largo del curso actual del río Paraná.- Esta disposición ha determinado que el sustrato cristalino se hunda suavemente para el W, al mismo tiempo que por ser borde terminal S de la cuenca deposicional, muestra una componente de buzamiento al N, con una pendiente media del orden de 5.2 m/km.

La forma original de esta cuenca fué posteriormente perturbada por movimientos tectónicos que se produjeron durante y después de las efusiones basálticas, dando origen a desplazamientos relativos verticales de bloques cristalinos con desniveles bastante sensibles, como se puede constatar por el estudio de las perforaciones realizadas por A.N.C.A.P y el I.G.U en esta zona.-

// Las fallas que afectaron al cristalino, también afectaron a las rocas pre y post-Gondwánicas, al parecer en varios períodos de movimientos tectónicos.- Los movimientos sin-eruptivos de edad Cratáceo inferior, aparecen como los de mayor efecto en lo que respecta al rechazo relativo de los bloques, resultando de estos movimientos una verdadera compartimentación del cristalino con formación de grabens en los sentidos N S y N 60 W.-

La reconstrucción más probable del paleopiso cristalino del sinclinal Paranaense lleva a definir buzamientos del siguiente orden:

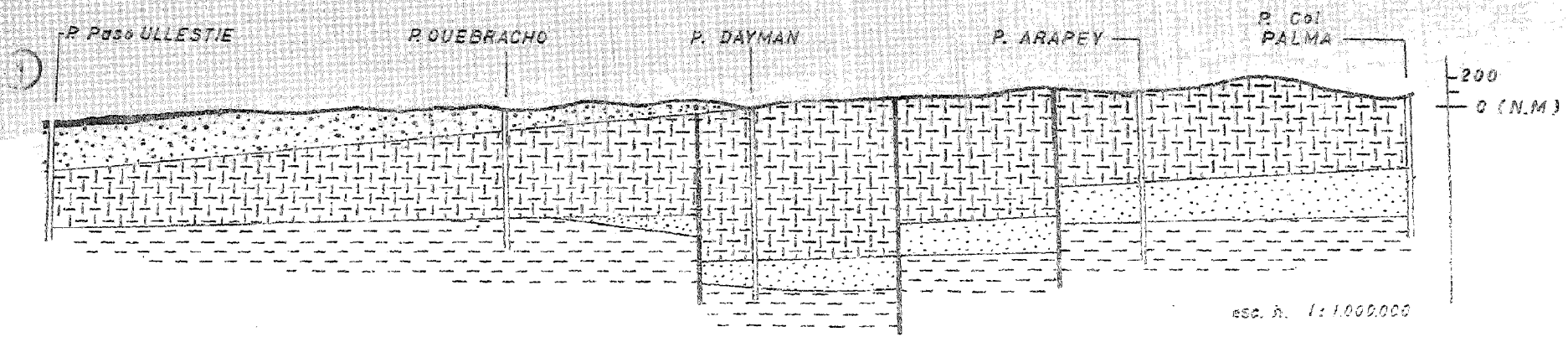
Buzam. general	{	- Componente hacia el N	5.2 m/km
al W N W		- Componente hacia el W	10.4 m/km

4.32 - Estructura del Gondwana

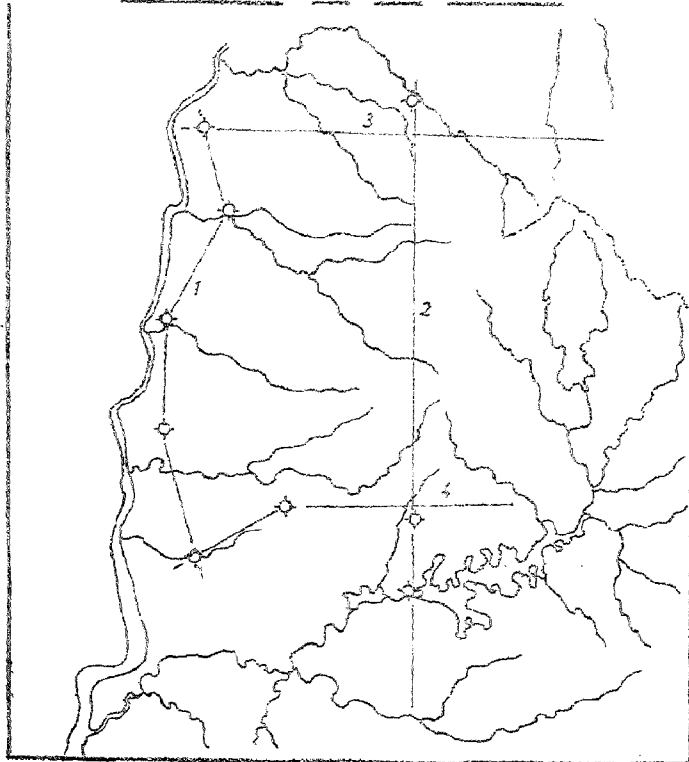
El estudio de las perforaciones revela que los sedimentos Gondwánicos se espesan considerablemente de S a N así como de E a W, acompañado la pendiente del zócalo cristalino predeposicional.- Las relaciones estructurales entre basalto y sedimentos Gondwánicos, quedan claramente ilustradas en los cortes 1, 2, 3 y 4 (páginas 28 y 29).

Hacia el borde S. de la cuenca, los sedimentos Gondwánicos presentan hiatos stratigráficos frecuentes así como cambios de facies, verificándose un "overlap" de las formaciones más modernas sobre las más antiguas sin la ocurrencia de los estratos intermedios. Al mismo tiempo, se verifica un acuñaamiento de estos hacia el S (ver corte 1), por debajo de los cuales a su vez en el Dpto. de Durazno, el Devónico se acuña para el N (corte 2).- Los hiatos stratigráficos y el acuñaamiento deposicional, fenómenos típicos de los bordes de las cuencas de sedimentación, son responsables de la disminución del espesor del Gondwana hacia el S, pudiendo señalarse con seguridad que los fenómenos erosivos prebasálticos, han tenido poca o ninguna incidencia en las variaciones de espesor de los sedimentos sub-basálticos en esta zona.-

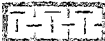

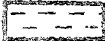


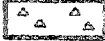




En Paso Ullastie, el espesor del Gondwana sedimentario es de 351 m, en tanto que 120 kms. más al N (Daymán), este espesor es de 1.223 m. En Colonia Palma, 100 Km más al N aún, la potencia de estos sedimentos llega a 1.725 m. Este acuñaamiento deposicional de los sedimentos Gondwánicos hacia el S, está acompañado por la desaparición de los sedimentos Neo-Gondwánicos.- Esto explica satisfactoriamente la desaparición de las Areniscas de Tacuarembó, que faltan completamente en las perforaciones de Salsipuedes, Guichón, Paso Ullastie, Guaviyú y Paso de los Toros.-



Ubicación de los Cortes

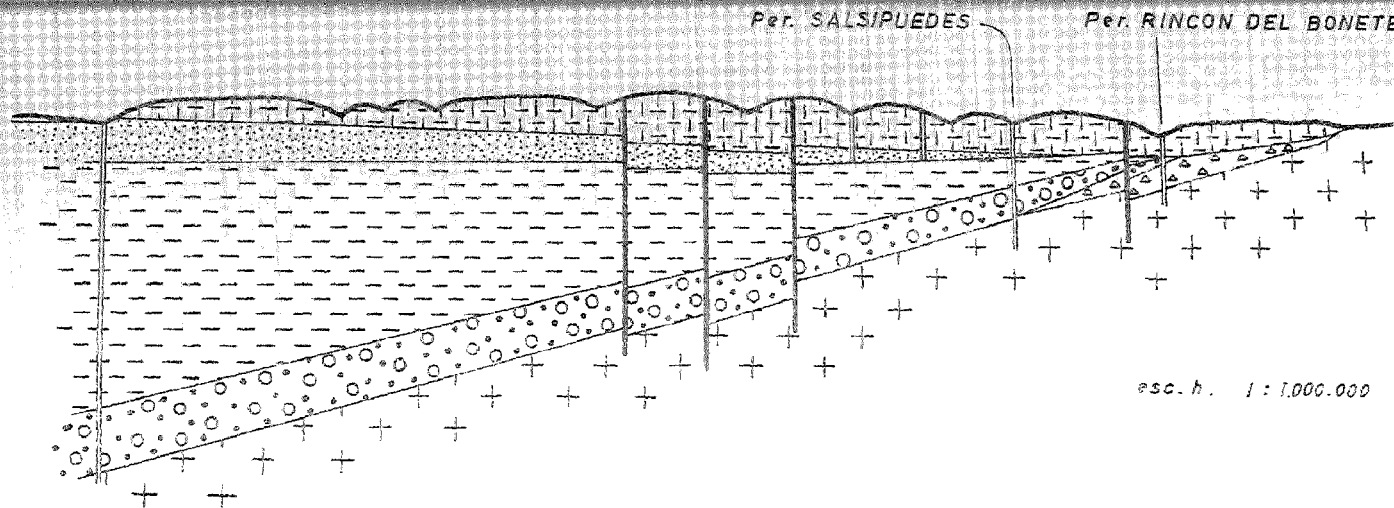


Referencias

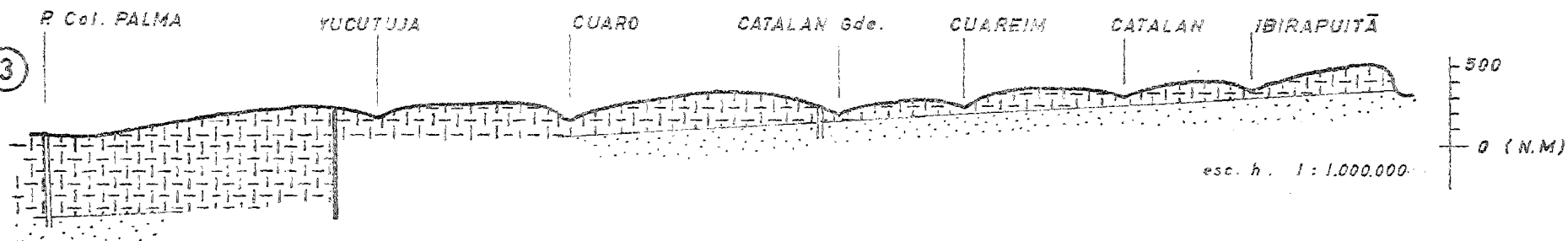
-  BASALTO (Form. Arapey)
-  ARENISCA de TACUAREMBO
-  GRUPO CARAGUATA
-  Form. SAN GREGORIO TRES ISLAS
-  PREDEVONIANO
-  GRUPO DURAZNO (Devoniano)
-  Form. FRAY BENTOS
-  " CRETACEAS
-  FALLAS
-  PERFORACIONES

CORTES GEOLOGICOS

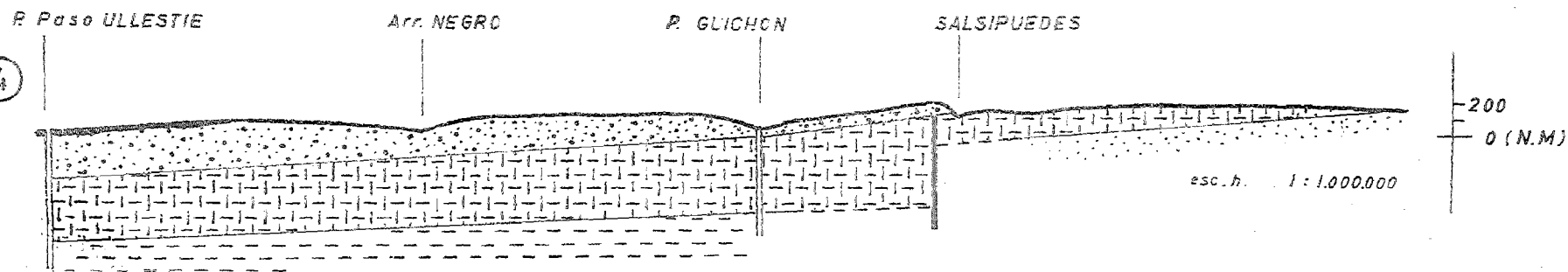
2



3



4



// Contrariamente a las restantes formaciones del Gondwana, la Formación San Gregorio-Tres Islas, aumenta su potencia de N a S en el W del área, contribuyendo en parte a desplazar hacia el N en esta zona, al límite S de oclusión de las areniscas de Tucumbó.-

4.33 - Estructura de los Basaltos

Los basaltos de Arapay cubren totalmente los sedimentos Gondwánicos del W uruguayo, dejando en cambio desde el frente de la cuesta hacia el E, una exposición gradacional de la sucesión sedimentaria total.-

El fallamiento sin-eruptivo que afectó los sedimentos Gondwánicos y el zócalo cristalino, es responsable de las mayores variaciones de espesor de los basaltos, habiendo resaltado el aumento natural de las potencias de éste hacia el W.- Las líneas tectónicas denominadas en este trabajo ejes tectónicos Bella Unión - Paso de los Toros y Constitución - Timbóres, definidos con precisión más adelante (párrafo 4.43), determinaron este comportamiento del basalto en cuanto a espesor, en virtud de los rechazos diferenciales que acompañaron al fallamiento.

El eje tectónico Bella Unión- Paso de los Toros divide la cobertura basáltica en el sentido longitudinal, en dos porciones de espesores bien diferenciados.- La cobertura de la porción situada al E del eje, no presenta grandes espesores tal como ilustra el corte 3, dándose incluso una disminución de la potencia de los rechazos de los bloques perturbados, con relación a la porción situada al W, por lo que los espesores del basalto son más uniformes, en esta zona, oscilando entre 100 y 300 m.- El rebajamiento erosivo de la cobertura basáltica ha determinado en muchos puntos la existencia de "ventanas" de la arenisca subyacente, en cuyos alrededores, así como en el fondo de erosión de muchos valles, el basalto presenta espesores sensiblemente inferiores a 100 m, generalmente del orden de 40 a 60 m.

Para el W de este eje tectónico, el basalto presenta espesores bastante mayores, alcanzando por término medio potencias del orden de 500 m.- Este espesamiento parece ser bastante brusco, en relación a la porción situada al E (cortes 3 y 4).-

El eje tectónico Constitución - Timbóres, es responsable de las variaciones de potencia del basalto, en el sentido N-S.- El sistema de escalones de falla rellenados por basalto contemporáneamente a este fallamiento, presenta un máximo hundimiento próximo a la barra del Río Daymán (ver corte 1).- Hacia el S de este punto, el basalto es menos potente y pro-

//

//
senta una nivelación bien marcada respecto al plano de base. Las perforaciones ya citadas, han revelado un espesor máximo de 955 m. en el bloque hundido del Río Dymén.- Al N del eje los espesores determinados por perforaciones han sido de 537 m. en Arapey, y 521 m en Colonia Palma.- Al S del eje tectónico mencionado, los espesores revelados por perforaciones han sido de 547 m. en Guaviyú y de 361 m. en Paso Ullastie, en esta última, ya bajo una importante cobertura cratóica.-

El corte 1, ilustra las relaciones estructurales señaladas.-

4.34 - Estructura de los sedimentos supra-basálticos

Sedimentos Cratóicos y Cenozoicos constituyen la cobertura supra-basáltica en el SW y W del área.- Definen grossamente un monoclinall que buza suavemente al SW, en el que es clara una discordancia erosiva entre sedimentos Cenozoicos y Cratóicos.-

4.341 - Las formaciones que integran el Cratóico uruguayo, se presentan imbricadas de N a S, de manera que los estratos más jóvenes son transgresivos sobre los más antiguos, determinando "overlaps" respecto a éstos.-

Los sedimentos del Cratóico se depositaron en una paleocuenca determinada por un sustrato basáltico hundido hacia el SW (en el N de la cuenca) y un sustrato cristalino buzando hacia el NW (en el S de la cuenca), con su línea de convergencia a la altura del curso inferior del Río Negro.- La potencia de los sedimentos apoyados en el sustrato basáltico, aumenta de N al S, llegando a un máximo en la línea de convergencia señalada. Los espesores de estas formaciones disminuyen hacia el S donde la Formación Asencio cubre directamente el Cristalino en mantos de pequeño espesor.-

Las formaciones Cratóicas no se continúan en superficie al W del río Uruguay, donde depósitos Cenozoicos forman un extenso y continuo manto.- El cratóico desaparece junto a este río en la República Argentina, y al W de la falla N-S que pasa por Guadalupechú señalada por CARDINI (1949), no ha sido observado debajo de los sedimentos más recientes aún en las perforaciones en que se ha encontrado basalto.-

4.342 - Las formaciones Cenozoicas ya descritas anteriormente en el parágrafo 4.27, se han depositado en discordancia erosiva y estratigráfica.-

Las formaciones importantes por su significación geológica son Fray Bentos y Salto.- La Formación Fray Bentos ocupa las áreas más extensas en los interfluvios mayores, donde recubre al Cratóico en espesores del orden de los 40 m.- Al igual //

//

que las formaciones Cratáceas, al plano de base de Fray Bentos buza hacia el oeste con una pendiente de 0,17%.-

La formación Salto, está depositada discordantemente sobre Arapay, Cratáceo y Fray Bentos, formando una estrecha y discontinua faja a lo largo de la margen izquierda del curso del río Uruguay, que no supera los 30 Km. de ancho.-

4.4 - TECTÓNICA

La técnica adoptada para el estudio tectónico del área, ha estado principalmente determinada por la necesidad de obtención de datos a corto plazo.- Consistió en estudios de foto-mosaicos a escala 1:100.000, con la finalidad de determinar las principales líneas estructurales, evidenciadas generalmente por una marcada acomodación del drenaje, según esas líneas.- La técnica fue desarrollada con el exclusivo objetivo de utilizar la información así obtenida, en la determinación del padrón tectónico, con vistas a su aplicación en la búsqueda de aguas subterráneas en rocas fisuradas.- En este trabajo se utilizó este método de forma sistemática por primera vez, pudiendo señalarse que ha constituido un éxito total respecto a los objetivos perseguidos.-

A partir de la interpretación de los foto-mosaicos, se obtuvieron las principales líneas estructurales que permitieron establecer por métodos estadísticos, diagramas de frecuencia de diaclasas, indispensables para el análisis tectónico y para su aplicación al problema Hidrogeológico:-

El control de campo, consistente en medidas de rumbo de diaclasas en diferentes puntos del área basáltica, mostró una estrecha correspondencia entre las medidas de campo y los datos del análisis tectónico.- Por otra parte, el estudio de foto mosaicos 1:100.000, evidenció importantes fallas cuya extensión al resto del área basáltica, fue establecida por correlación con datos gravimétricos de AFCAP y análisis geológico- estructural de perfiles de sondeo.-

Los resultados obtenidos se presentan en la Carta Tectónica, que muestra las principales líneas de fallas y diaclasas observadas, respetando rigurosamente las longitudes medidas y en diagramas de frecuencia y longitud de diaclasas:-

Los diagramas de frecuencia se han construido siguiendo la técnica clásicamente usada en Geología estructural, y la técnica de construcción de diagramas de longitudes, es una novedad introducida en este trabajo, dada la importancia Hidrogeológica que tiene la longitud de las

//

//
fracturas en lo relativo a su capacidad colectora.- Estos diagramas se han construido en forma similar a los de frecuencia, uniendo en un polígono de segmentos de recta (rosas), los extremos de radio vectores de módulo proporcional a la longitud de la mayor disclusa definida dentro de cada grupo correspondiente a un sector de 6 grados.-

4.41 - Líneas estructurales.-

La observación de un mapa geográfico de escala 1: 500.000, muestra que la disposición del drenaje sigue un diseño de control estructural, en el que predominan direcciones rectilíneas.-

La observación de la Carta Tectónica que se presenta en la documentación gráfica especial, al final del trabajo, permite apreciar la distribución de las líneas estructurales en las áreas en que se dispuso de fotos aéreas, y cuyo análisis revela la existencia de una cierta predominancia estadística de direcciones según 4 sectores bien definidos:

- en torno de la línea N-S
- en torno de la línea Nw
- en torno de la línea NE
- en torno de la línea WNW

Estas direcciones quedan evidenciadas claramente por los diagramas de frecuencia que se presentan en la página 34.- Puede observarse que hay diferencias marcadas entre los diagramas correspondientes a diferentes zonas (o fotomosaicos), aunque mantienen una homogeneidad regional.-

4.411 - Direcciones Estructurales de mayor longitud

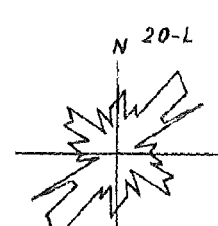
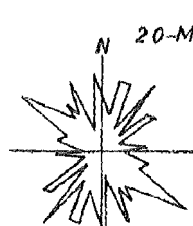
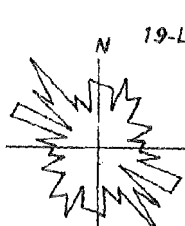
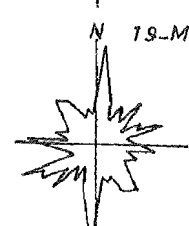
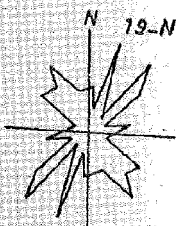
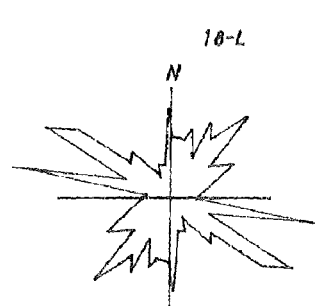
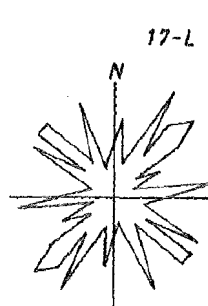
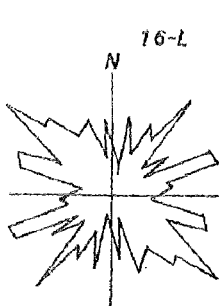
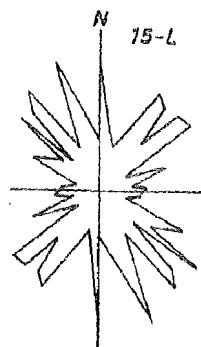
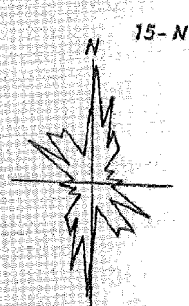
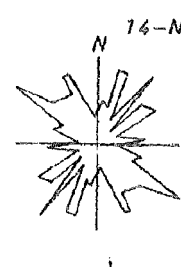
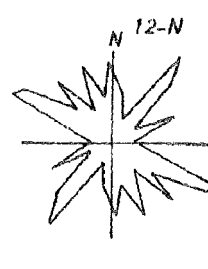
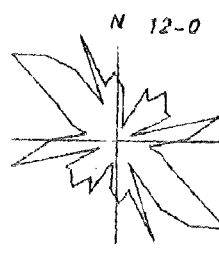
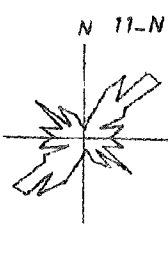
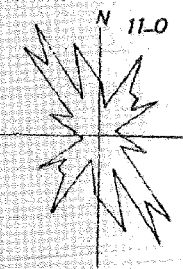
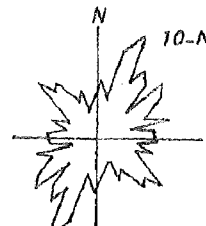
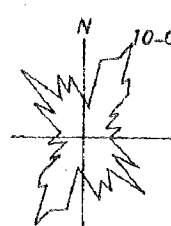
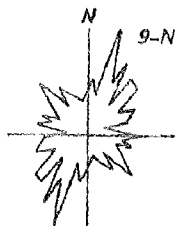
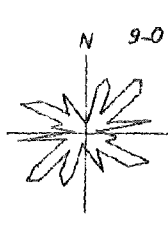
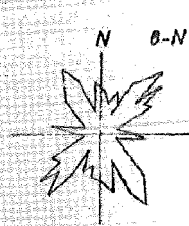
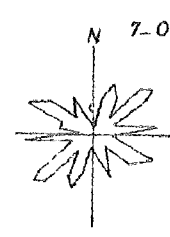
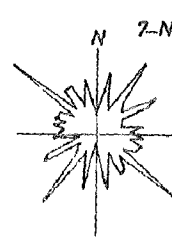
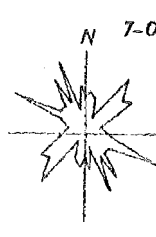
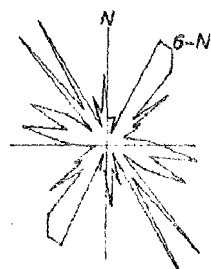
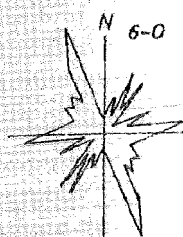
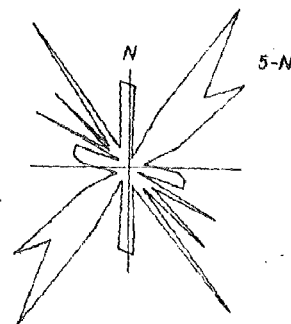
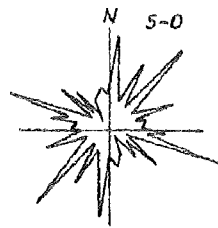
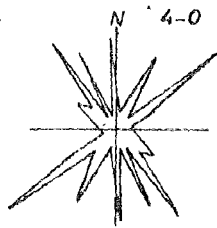
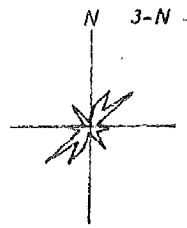
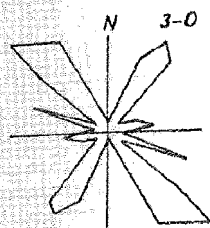
Dada la importancia Hidrogeológica de la longitud de las fracturas, se ha estudiado con cierto detalle las características reveladas por los rosas de longitudes que se presentan en la página 35.-

En general se observa que las direcciones correspondientes a las líneas tectónicas de mayor extensión, cambian de N a S.- Próximo a Paso de los Toros, las mayores longitudes corresponden al rumbo N 80 E y secundariamente a la dirección N 10 E.- En Salto, las direcciones de máxima longitud se desarrollan en torno al N 45 W en tanto que próximo a Bella Unión las mismas corresponden a N 20 W.-

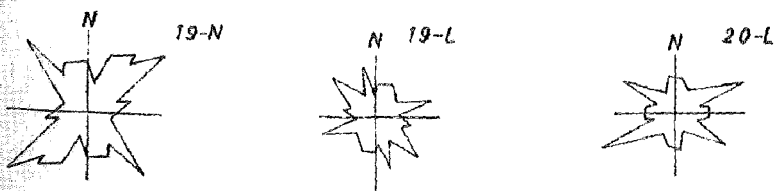
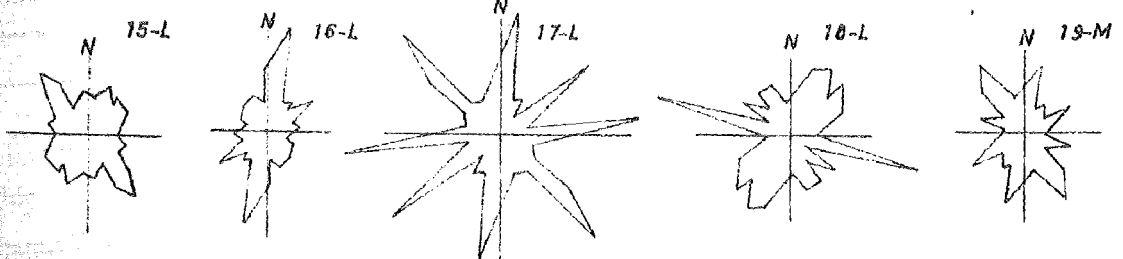
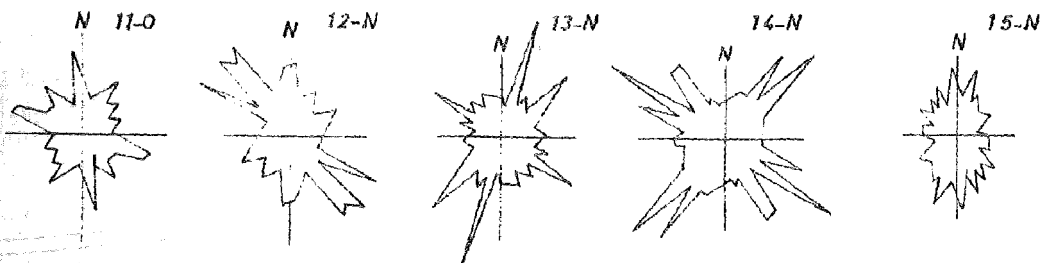
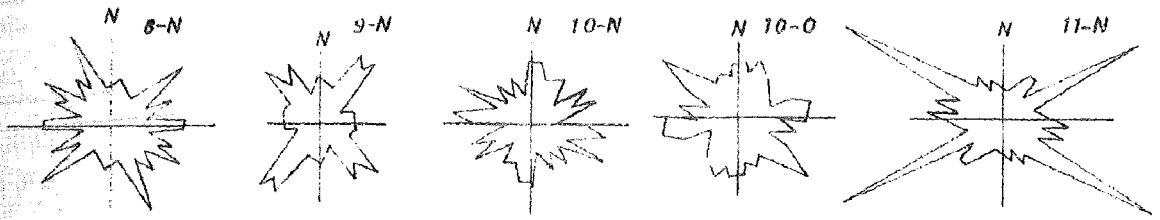
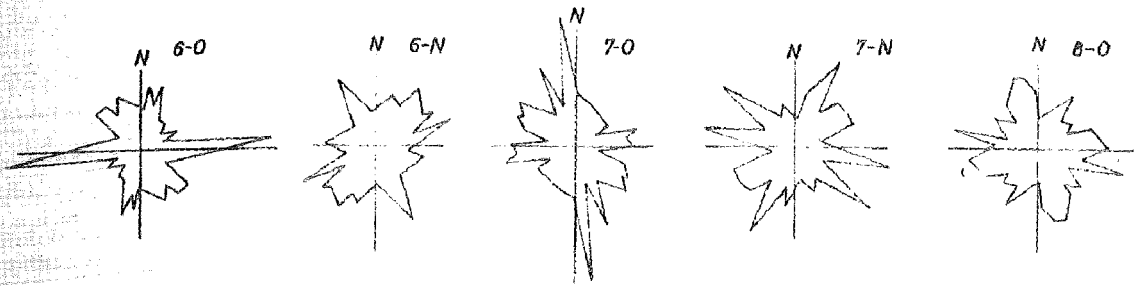
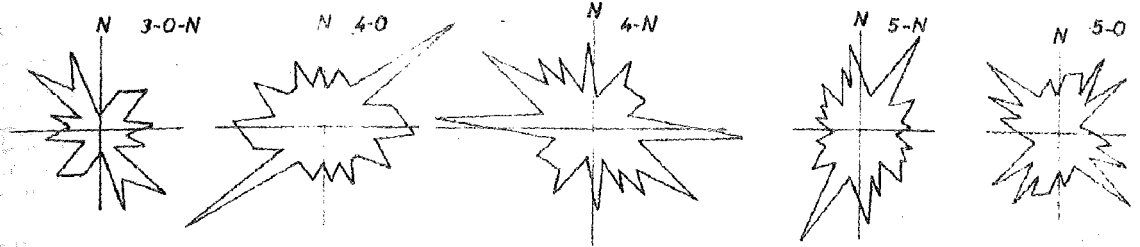
Por su posible incidencia en el problema, es importante destacar que las mayores superposiciones entre direcciones de líneas estructurales de mayor frecuencia y de

//

DIAGRAMAS DE FRECUENCIA



DIAGRAMAS DE LONGITUDES



// gran longitud, corresponden estadísticamente a las siguientes direcciones:

- N 10 E
- N 35 E (la de mayor coincidencia estadística)
- N 55 E
- N 55 W

4.42 Líneas de Falla

La observación de fallas en áreas basálticas resulta bastante difícil en los reconocimientos de terreno, a menos que se ejecuten precisos levantamientos de detalle. - A través de la fotografía en cambio, es fácil su determinación y consecuentemente su localización. -

Las fallas observadas no presentan resalta topográficos o expresiones morfológicas que las evidencian, como forma fue anteriormente dicho. - Normalmente se confunden con el relieve circundante, aunque con cierta frecuencia se encuentran marcando la red de drenaje. -

El levantamiento de las líneas estructurales tanto en los mosaicos aerofotográficos como en el terreno, indicó la existencia de fallas bien definidas con las siguientes direcciones:

N 15 E	N 8 a 10 W
N 37 a 42 E	N 40 a 45 W
N 50 a 52 E	N 50 a 52 W
N 60 E	N 60 W
N 70 a 75 E	N 70 a 75 W
N 78 a 80 E	

Una línea de falla muy importante ocurre en el área Paso de los Toros, presentando un rumbo de N 78 a 80 E. Esta falla parece coincidir con la falla Gualeguay-Gualeguaychú en la Provincia de Entre Ríos (República Argentina), referida por CORDINI (1949). -

La línea de Falla con rumbo N 10 a 15 E, coincide con las fallas de los ríos Nogoy, Gualeguay y Gualeguaychú en la Provincia de Entre Ríos, referidas por el citado autor. -

Estas fallas determinaron el hundimiento escler-

//
do del basalto hacia el W encontrándose según LAMBERT(1948) a 770 m de profundidad al S.de Paraná(Ramírez).-
A consecuencia de la tectónica de falla, el basalto y las rocas infrayacentes, han sufrido desplazamientos horizontales y verticales de cierta importancia.-

El perfil geológico Nº 3 (página 29), muestra claramente que en las perforaciones de Arapey y Colonia Palma, el basalto presenta espesores mucho mayores de los que posee hacia el E, o sea próximo al frente de la Cuesta.- La observación del corte No.4(página 29.-), que también atraviesa de E a W el área basáltica, permite ver que a partir de Salsipuedes y en dirección a Guichón, se produce un brusco aumento en el espesor del basalto, al mismo tiempo que el nivel del sustrato Cristalino es cada vez más profundo(no visible en el corte).-

La observación del perfil N - S que pasa por las perforaciones de Colonia Palma, Arapey, Quebracho y Paso Ullestie (corte No.1 Página Nº 28.-) muestra la existencia de un importante "graben" en el área del río Dayman, donde el sustrato Cristalino se encuentra a 2.161 m debajo del nivel del mar, coincidiendo al mismo tiempo con el área de mayor espesor del basalto(955 m).- Para el S. el sustrato Cristalino parece estar poco o nada perturbado, presentándose bastante horizontalizado, con apenas un buzamiento suave hacia el N.

4.43 - Ejes Tectónicos

Diversas observaciones realizadas en el transcurso del trabajo, llevaron a inferir la existencia de dos ejes tectónicos confirmandos por trabajos de campo y datos de prospección gravimétrica de ANCAP.-

Estos ejes tectónicos, representan las áreas donde la intensidad de los esfuerzos determinó la ruptura y disyunción del basalto, e inclusive la desnivelación del sustrato infrabásaltico.-

La observación de los cortes geológicos, los trabajos de campo, el análisis de fotomosaicos y los estudios de sondeos, revelaron los siguientes hechos:

- existe una marcada diferencia de espesor entre los basaltos observados en la parte oriental del derrame al frente de la cuesta(100 a 300m) y los de la porción occidental próxima al río Uruguay(500 a 900 m).-
- los cursos de los ríos sufren inflexiones de dirección E-W al cruzar determinadas fajas.-

//

- // - existe un importante y extenso afloramiento de areniscas infrabasálticas, en la carretera Tacuarembó - Paysandú, en el centro del área basáltica.-
- ocurren áreas con marcadas concentraciones de líneas estructurales, bien observables en los mosaicos aerofotográficos,
- existen líneas de marcadas anomalías gravimétricas positivas coincidentes con las fajas en las cuales los pozos determinaron máximos espesores de basalto.-

Estos hechos llevan a confirmar la existencia de los dos ejes tectónicos inferidos, que se cruzan en forma de X y que en este trabajo provisoriamente se denominan:

1) Bella Unión - Paso de los Toros - con rumbo NNW - SSE separando las áreas de mayor y menor espesor de basalto.-

2) Constitución - Tambores con rumbo NW - SE presentando un desplazamiento junto al eje anterior, mostrando rechazos verticales acentuados en la porción sur occidental.-

Estas grandes líneas tectónicas, se presentan en su posición en la figura adjunta (página 39).-

4.44 Edad de la fracturación.-

La existencia de los ejes mencionados; la comprobación de la existencia de una fosa sin derrame; la observación de líneas estructurales claras en rocas sedimentarias del Cretáceo Superior y posteriores, y otros hechos igualmente constatados llevaron a concluir la existencia inequívoca de fases tectónicas bien definidas que en cuanto a su edad pueden dividirse en SIN y POST DERRAME.

4.441 - Tectónica Sin-Derrame (Cretáceo inferior)

La tectónica "sin-derrame" es la responsable de la compartimentación de bloques actualmente cubiertos por las efusivas basálticas, y en consecuencia, ha tenido incidencia directa en las variaciones del espesor del basalto.-

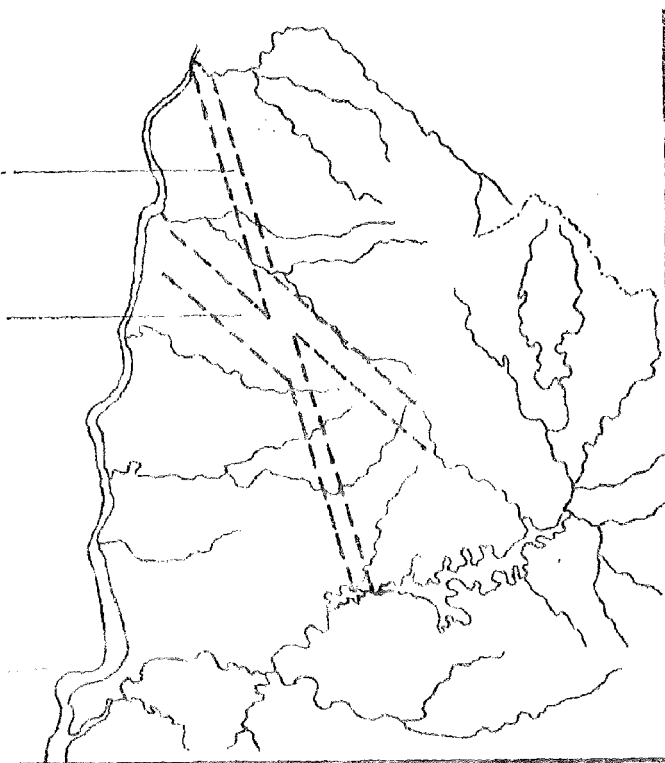
Las consecuencias más importantes de la fracturación sin-derrame fueron:

a - escalonamiento resultante de la línea de fallas de dirección aproximadamente NW SE, originando un graben transversal rellenado por los propios derrames (lo que determina su edad "sin derrame").-

b - escalonamiento en el sentido E - W, resultante de las fallas con dirección NNW - SSE que reactivaron las líneas anteriores, dando origen hacia el W, en dirección al Río Uruguay, a un mayor hundimiento en forma de bloques escalonados que //

Eje tectónico
Bella Unión -
Paso de los
Toros

E. T. Consti-
tución - Tam-
bores



//

se prolongan en la Rep. Argentina por debajo de los sedimentos más recientes.-

4.442 - Tectónica Post-Derrame (Terciaria)

La tectónica Post-Derrame parece haber tenido su paroxismo en el Terciario, habiendo afectado formaciones Cretáceas en Uruguay y Miocenas en Argentina.- Esta tectónica es de más fácil reconocimiento que la anterior y en parte constituye una reactivación de las líneas "Sin-Derrame".- Esta fase tectónica parece haber seccionado el Cretáceo determinando su desaparición en la Rep. Argentina, en zonas próximas al curso del Río Uruguay.-

Los intensos diaclasados observados en areniscas de la Formación Asencio (Cretáceo Superior), unos Kms al S de la Ciudad de Mercedes, así como las líneas estructurales observables en fotos aéreas de zonas cubiertas por Formación Pray Bentos constituyen elementos de juicio definitivos, en cuanto a la existencia de la tectónica post-derrame.-

CORDINI, al analizar los elementos que tuvo a disposición con relación a la tectónica de Entre Ríos, verificó que la misma no presentaba expresión morfológica apreciable, salvo pequeñas excepciones, y según él esta tectónica dataría del fin del Terciario, posiblemente del Pleistoceno.-

//

Estos hechos nos llevan a concluir que es bastante probable la existencia de correspondencia entre las fallas que afectaron a la Provincia de Entre Ríos y las fallas post-derrame (Terciaria), que se verifican en territorio uruguayo, donde las direcciones presentan gran coincidencia, inclusive con prolongamiento aparente y reflejos morfológicos de igual naturaleza.-

4.45 Interpretación de la Tectónica.

Los numerosos datos tectónicos que configuran los hechos en que se apoya la parte más importante de este trabajo, fueron completamente analizados en los parágrafos anteriores. Cabe ahora ineludiblemente, intentar una síntesis o interpretación de estos hechos, por riesgosa que parezca la misma.-

A la luz de los conocimientos actuales sobre comportamiento de rocas rígidas frente a los esfuerzos, parece claro que pueden esperarse relaciones claras entre direcciones constatadas de fracturación y tipo y dirección de los esfuerzos actuantes.- Si bien teóricamente es así, debe señalarse que en la práctica, las relaciones son de difícil interpretación.- Por otra parte, en el caso del presente estudio, se cuenta sólo con direcciones y se carece de los datos de buzamiento correspondiente a las innumerables fracturas determinadas en el basalto, por lo que lógicamente, faltan aún elementos para un juicio definitivo. No obstante, puede considerarse que es plausible tentar una interpretación con los elementos disponibles y que los resultados de la misma, serán al menos una útil hipótesis de trabajo para la continuación de estos estudios.-

De las direcciones observadas en los diagramas de frecuencia (pág.34) y de los diseños de las rosetas, se infiere la existencia de tres grupos de fracturas que se describen en lo que sigue.-

Fracturas del grupo A.

Pertenece a este grupo las líneas estructurales que giran en torno a direcciones que varían dentro de los siguientes límites:

N 5 a 15 E

N 70 a 85 W

En algunos casos, se han verificado rotaciones de estas direcciones. La bisectriz del ángulo agudo entre las direcciones principales se inclina para el cuadrante NE en el área próxima a Paysandú y para el cuadrante NW próximo a Bella Unión.-

//
Estos hechos nos llevan a concluir que es bastante probable la existencia de correspondencia entre las fallas que afectaron a la Provincia de Entre Ríos y las fallas post-derrame (Terciaria), que se verifican en territorio uruguayo, donde las direcciones presentan gran coincidencia, inclusive con prolongamiento aparente y reflejos morfológicos de igual naturaleza.-

4.45 Interpretación de la Tectónica.

Los numerosos datos tectónicos que configuran los hechos en que se apoya la parte más importante de este trabajo, fueron completamente analizados en los parágrafos anteriores. Cabe ahora ineludiblemente, intentar una síntesis o interpretación de estos hechos, por riesgosa que parezca la misma.-

A la luz de los conocimientos actuales sobre comportamiento de rocas rígidas frente a los esfuerzos, parece claro que pueden esperarse relaciones claras entre direcciones constataadas de fracturación y tipo y dirección de los esfuerzos actuantes.- Si bien teóricamente es así, debe señalarse que en la práctica, las relaciones son de difícil interpretación.- Por otra parte, en el caso del presente estudio, se cuenta sólo con direcciones y se carece de los datos de buzamiento correspondiente a las innumerables fracturas determinadas en el basalto, por lo que lógicamente, faltan aún elementos para un juicio definitivo. No obstante, puede considerarse que es plausible tentar una interpretación con los elementos disponibles y que los resultados de la misma, serán al menos una útil hipótesis de trabajo para la continuación de estos estudios.-

De las direcciones observadas en los diagramas de frecuencia (pág.34) y de los diseños de las rosetas, se infiere la existencia de tres grupos de fracturas que se describen en lo que sigue.-

Fracturas del grupo A.

Pertenecen a este grupo las líneas estructurales que giran en torno a direcciones que varían dentro de los siguientes límites:

N 5 a 15 E

N 70 a 85 W

En algunos casos, se han verificado rotaciones de estas direcciones. La bisectriz del ángulo agudo entre las direcciones principales se inclina para el cuadrante NE en el área próxima a Paysandú y para el cuadrante NW próximo a Bella Unión.-

//

Las líneas estructurales con las mayores extensiones, se presentan dentro del grupo de diaclasas (nomenclatura en el sentido de DAUBREE) con rumbo NS, especialmente en las proximidades del río Uruguay al S del río Arapey y también en los alrededores de Paso de los Toros.-

Fracturas del grupo B.

Pertenecen a este grupo las líneas estructurales que giran en torno a direcciones que varían dentro de los siguientes límites:

N 25 a 40 E

N 50 a 65 W

Estas direcciones constituyen líneas de cisallamiento, frecuentemente expresadas por fallas, bastantes visibles en zonas próximas a Salto, con dirección N 50 a 57 W, acompañadas de grandensidad de diaclasas de la misma dirección.-

Según la teoría del elipsoide de tensión, las direcciones que deben corresponder a líneas de alivio de tensión (fracturas abiertas) deben estar dentro de los siguientes límites:

N 10 W a N 10 E

N 80 E a N 80 W

De ser efectivamente así las direcciones de fractura NS y EW, deben tener marcada importancia hidrogeológica.-

Fracturas del grupo C.

Pertenecen a este grupo las líneas estructurales que giran en torno a direcciones que varían dentro de los siguientes límites:

N 50 a 65 E

N 25 a 45 W

Las direcciones correspondientes a este grupo de diaclasas presentan su mayor desarrollo en el área de Bella Unión, con importantes fallas encajadas por el río Uruguay.-

Próximo al área de la falla de Paso de los Toros, se verifica una distorsión de esas líneas con giro de algunos grados, resultando los parámetros en torno a las direcciones N 40 E y N 42 a 45 W.-

Las direcciones de alivio de tensión de posible importancia hidrogeológica obedecen a los rumbos N 5 a 25 E.-

V. GEOMORFOLOGIA

El área en estudio puede ser clasificada morfológicamente como una región de cuestas, donde una estructura monoclinnal, con buzamiento hacia el W, presenta dos líneas de escarpas con salientes topográficas bien diferenciadas y concéntricas. El elemento diferenciador entre las dos escarpas es altimétrico y litológico-estructural.-

La cuesta interna, situada al W de la primera, presenta desniveles del orden de los treinta metros y se forma en las rocas sedimentarias cretáceas, sobrepuestas discordantemente sobre la base basáltica.-

La cuesta externa, constituye una prolongación natural de la cuesta basáltica uruguayo-riograndense. Presenta en su frente un desnivel topográfico que puede alcanzar hasta 200 m, en el que los derrames basálticos de la formación Arapey aparecen superpuestos a las areniscas de Tacuarembó. Esta escarpa forma el arco externo del conjunto, y presenta una marcada diferenciación en cuanto al aspecto morfológico en el sentido NS, a medida que se aparta del eje tectónico Constitución-Tamboré.- La escarpa basáltica se extiende en un frente mucho más desarrollado que la primera.-

Ambas cuestas se presentan con frente hacia el E y reverso hacia el W, acompañando el buzamiento de las capas.-

5.1 - EVOLUCION GEOMORFOLOGICA

La evolución morfológica del área en estudio, está íntimamente relacionada con los movimientos crustales que afectaron en el Terciario al Continente Sudamericano, levantando el planalto brasileiro donde provocaron fracturas de gran amplitud reactivando algunas fallas preexistentes.-

Esos movimientos fueron de carácter epeirogénico, por lo que los grandes bloques continentales opuestos a los plegamientos andinos, no sufrieron perturbaciones de carácter deformante plástico, manteniendo en mayor o menor escala las estructuras preexistentes, aunque soportando intensa fracturación por fallas a veces de tipo rotacional.-

Estos movimientos, encontraron una superficie erosionada posiblemente con tendencia a un peneplano, donde el actual drenaje se encontraba sobre-impuesto tal vez desde fines del Cretáceo, afectando las formaciones Cretáceas y Post-Cretáceas. Se pueden separar por lo tanto en la historia evolutiva de la región, dos ciclos erosivos que prácticamente determinan su aspecto actual: una fase pre y otra post-epeirogénica, ambas post Fray Bentos.

//

5.11 - Fase Pre-epeirogénica.

Esta superficie se desarrolló sobre un conjunto de sedimentos de edad Cretácea, ya cubiertos discordantemente por una formación Terciaria (Fray Bentos) y también sobre los basaltos descubiertos. Esta fase erosiva se desarrolló avanzando hacia el este tendiendo a nivelar los sedimentos con los basaltos.-

El drenaje, que tuvo el papel más importante del ciclo, se mantuvo con carácter consecuente desde el Cretáceo. Las líneas de drenaje se tendían procurando alcanzar el área del actual río Uruguay, el que constituyó y constituye para cada confluencia, un nivel de base regional que en el conjunto, coordina la erosión de toda el área en forma bastante armónica. Durante esta fase, al N del río Dayuén y dentro de una cuenca regional, se desarrolló la deposición de los sedimentos de origen fluvial que actualmente constituyen la Formación Salto, a expensas de materiales provenientes del basalto. En base al tipo de deposición, puede establecerse que los ríos acusaban un régimen torrencial, con capacidades de carga variables, testificadas por la heterogeneidad de los depósitos, no muy bien seleccionados.-

La nivelación de esa superficie se produjo durante el período que media entre la finalización de la deposición de Fray Bentos y la iniciación de los movimientos epeirogénicos arriba mencionados. La superficie resultante se extendió desde los basaltos del este en forma de una superficie continua hasta el área ocupada por el río Uruguay, nivelando tanto los sedimentos de la formación Fray Bentos, como los silicificados de Guichón y los siliciferrificados de Asencio.-

Esta superficie se encuentra hoy ocupando cotas superiores a los 70 m, formando un plano cortado por la Ruta 3 en el Km 476 a 105m de altura, ascendiendo hacia el E donde puede alcanzar cotas bastantes más elevadas. Esa superficie debió haber sido muy bien nivelada de tal forma, que se aproximaba en grandes rasgos al peneplano con un drenaje senil, según el concepto baivinsoniano.-

En esta fase de la evolución geomorfológica de la porción NW de Uruguay, el drenaje presentaba características consecuentes en la parte hoy formada por el reverso, y una insición relativamente pequeña de drenaje en lo que hoy es el frente de la cuesta. En esta última parte, los ríos tendían a acomodarse al nivel de base determinado por el río Negro, el que a su vez estaba controlado por el río Uruguay. Los ríos que corrían para el este presentaban cursos cortos de gradiente relativamente suave, ya que toda el área tenía pequeña elevación topográfica, dando origen aguas arriba a procesos erosivos bastante lentos.-

//

En esta fase tanto los sedimentos gondwánicos como el basalto, se encontraban bastante nivelados hacia el sur, lo que permitía la continuación epigénica del río Negro que se mantenía posiblemente desde el Cretáceo.-

5.12 - Fase Post-epeirogénica.

La superficie Post-epeirogénica se desarrolló después de la deposición de los sedimentos de Salto, los que se formaron durante la fase erosiva de la superficie anterior.-

El ascenso continental que levantó la superficie de Asencio - Guichón hasta la cota de 105m, provocó en el área anteriormente citada un nuevo proceso erosivo que se desarrolla desde entonces hasta nuestros días. Esta nueva fase erosiva afectó todas las formaciones Cretáceas y Post-Cretáceas, desarrollando una nueva superficie de erosión, aún en proceso de esculturación.-

Por la importancia de esta fase en cuanto a su relación con el relieve actual y por ende a su incidencia en el problema hidrogeológico, en lo que sigue se analizarán separadamente la evolución del reverso y del frente de la Cuesta Basáltica.-

5.121 - Evolución del reverso de la Cuesta.

En esta parte, el drenaje consecuente, obedeciendo al buzamiento de las capas empinadas por la epeirogénesis y colocadas a cotas más elevadas, pasó a presentar un gradiente más fuerte reesculturando la superficie anterior, donde inició el desgaste en sentido ascendente. En esta fase, la continua superficie formada por Fray Bentos, mucho menos resistente a la erosión, fue fácilmente donudada, quedando esta formación restringida a interfluvios aunque en forma bastante extensa, habiéndose nivelado con las formaciones subyacentes. A la vez este proceso erosivo resaltó las crestas del Cretáceo silicificado, dando origen a escarpas pequeñas y fragmentadas vueltas hacia el W.-

Las líneas de drenaje consecuente, al encontrar el material más duro del Cretáceo, al mismo tiempo que se profundizaban dentro de él, abrían gargantas que poco a poco se alargaban hacia el W. En la parte frontal, o sea al E de la escarpa Cretácea, el drenaje subsecuente afluente del anterior, a la vez que se desarrollaba erosionando al Cretáceo, formaba un frente de cuesta hacia el E, destacando la escarpa silicificada y dejando tras de sí, una superficie semitabular de cerros sedimentarios, así como una línea de cerros testigos, mesetas y formas ruiniformes. Al encontrar ese frente de resistencia, el río Queguay desarrolló en esa parte un extenso valle con amplia llanura aluvial. Este valle se estrecha rápidamente en forma de

garganta, cuando cruza la cresta silicificada, la cual se extiende en forma más o menos continua por muchos km.-

La parte situada al N del área Cretácea, presenta una superficie nivelada en basalto, con señales claras de la acción de varias etapas de erosión, evidenciadas en las cañadas y cursos de agua, por pequeños paredones excavados en el basalto, acompañando las líneas de diaclasas más importantes y dando origen a valles con laderas recto-cóncavas.-

5.122 - Evolución del frente de la Cuesta

El verdadero entallamiento del frente de la cuesta se desarrolló en esta fase erosiva. La evolución del frente es bastante nueva, ya que no se observan en esta área fenómenos de captación de los ríos consecuentes por los resecuentes que drenan para el E.-

El drenaje resecuente es bastante corto, por lo que no ha tenido tiempo de desarrollarse a expensas del consecuente, como ocurrió en el Planalto Basáltico de Río Gde. del Sur (Brasil). En este aspecto se presenta una semejanza bastante grande con el drenaje de igual tipo de la Cuesta Uruguay de R.G.S.-

El río Negro, que funciona como nivel de base regional para estos ríos, cruza el basalto a la altura de Paso de los Toros, donde su curso está en parte orientado por una falla. El desenvolvimiento del frente de la cuesta, está por lo tanto íntimamente relacionado con el desarrollo de la erosión del Río Negro sobre el basalto, al cual está fijado por epigenia.-

Desde el punto de vista del paisaje desarrollado por el frente de la Cuesta, pueden diferenciarse claramente tres sectores:

- La primera porción que denominaremos de Rivera - Tacuarembó, presenta un frente de disección bien pronunciado, de aspecto longilíneo, con desarrollo de valles subsecuentes paralelos al frente de la Cuesta, que destacan formas residuales, tales como cerros testigos, mesetas y plataformas estructurales, acompañadas de formas menos angulosas, dando origen a cerros de cumbres tabulares y laderas recto-cóncavas.-

- La segunda porción, que se ubica formando un semicírculo alrededor de Tacuarembó, donde desarrolla un gran anfiteatro, presenta gran número de interfluvios tabulares de dirección EW, que bajan en forma de dedos para el E, constituyendo los interfluvios de separación del drenaje resecuente. Esta es la zona de mayor actividad erosiva en el frente de la Cuesta, en la que se presenta una máxima incidencia de cerros testigos y otras formas erosivas.-

- La tercera porción de escarpa, es la situada hacia el S, en dirección a Rossell y Rius. En esta parte, la Cuesta pierde expresión topográfica, para presentarse en forma de cerros suavemente ondulados, poco sobresalientes a la arenisca y donde

el Río Negro cruza para el W con un drenaje sobreimpuesto al basalto, determinando el retroceso de este último hacia el W, donde el río se encaja en la gran falla de Paso de los Toros.

5.2 - ACOMODACION DEL DRENAJE

El drenaje se presenta nítidamente epigénico a las estructuras preexistentes, a partir de las cuales se desarrollaron las superficies de erosión anteriormente consideradas. Esta epigenia del drenaje, parece ser ampliamente comprobada cuando se observa el curso del Río Negro y su posición respecto a la estructura, dado que esta imprimiría a dicho río, la tendencia a seguir un curso subsecuente, hasta bordear por el S el derrame. Sin embargo, su curso se sobreimpone al basalto, cruzando en forma consecuente, por lo que es clara una típica formación epigénica, que confirma nuestra hipótesis.-

Estos hechos demuestran que el drenaje de esta zona en sus grandes líneas se mantiene en cursos similares a los actuales desde el Cretáceo.-

A pesar de la sobreimposición de sus cursos, los ríos consecuentes del reverso de la Cuesta, se acomodaron a las líneas tectónicas acompañando las principales direcciones de diaclasas y fallas, dando origen a un drenaje aveces anguloso y otras paralelo, evidenciando claramente esta acomodación a las líneas de fractura. Se observa en el drenaje una nítida predominancia de las direcciones SE-NW y SW-NE, formando un ángulo del orden de los 60° a 70°, lo que coincide con los diagramas de diaclasas más frecuentes obtenidos por análisis tectónico.

VI. HIDROGEOLOGIA

Siendo el área en estudio un área de rocas fisuradas, no es posible aplicar los mismos métodos utilizados para los materiales porosos, en cuanto a estudios de las condiciones y comportamiento Hidrogeológico de la región. La necesidad de aplicar métodos especiales que no están dentro de los cánones de la pesquisa hidrogeológica de rocas sedimentarias o sedimentos, justifica el desarrollo extenso dado a los capítulos anteriores.

Tratándose de basaltos del trapp del Paraná, cuyo comportamiento hidrogeológico es el de una típica roca fisurada, los rasgos estructurales y tectónicos son de gran importancia, principalmente teniendo en cuenta que antes de "cuantificar", hay que definir una técnica de pesquisa para la búsqueda de las áreas más favorables, tanto con respecto a los caudales a obtener de la perforación de pozos, como para interpretar los resultados, a fin de posibilitar una división en zonas de posibilidades hidrogeológicas más o menos uniformes, capaces de permitir un planeamiento efectivo, en lo que respecta a la búsqueda de aguas subterráneas y a su

//

utilización para el agro.

Como primera etapa se definieron las características hidrogeológicas de cada litología, tomando como base los pozos existentes y los caudales obtenidos. A través de elaboración de fichas catastrales y de su comportamiento estadístico, se llegó a una idea general, la que junto con el desarrollo de esta investigación deberá ser perfeccionada en sus detalles.-

Como resultado de este estudio, ha sido posible diferenciar desde el punto de vista hidrogeológico las diferentes litologías, al mismo tiempo que obtener datos cuantitativos básicos, capaces de permitir diferenciar áreas de mayor y menor rendimiento dentro del propio basalto.-

Este capítulo, que constituye una interpretación de los elementos adquiridos, se desarrollará en dos aspectos: uno en relación a las características hidrogeológicas de las diferentes litologías involucradas en el problema (incluyendo formaciones sub y suprabasálticas), y otro relativo a una tentativa de zoneamiento hidrogeológico.-

6.1 - REFLEJOS HIDROGEOLOGICOS DE LA LITOLOGIA

El análisis estadístico de los pozos tanto cuali como cuantitativo, llevó a distinguir las diferentes litologías como acuíferos de características diferenciadas susceptibles de ser individualizadas, al punto de justificar inclusive una división en zonas de diferentes posibilidades hidrogeológicas.-

No es solamente desde el punto de vista del rendimiento de los pozos que es posible la individualización, sino también en cuanto a la forma de circulación, posibilidades de captación y técnicas de búsqueda y cuantificación.-

6.11 - Aspectos hidrogeológicos de las Areniscas de Tacuarembó.

Estas areniscas se presentan como la roca base sobre la cual se derramaron los basaltos, por lo menos en la parte N del área con un límite aproximado a la altura del río Guaviyú, donde terminan en forma de cuña, característica de borde deposicional según ha sido señalado en el parágrafo 4.32 (ver también cortes 3 y 4, pag.29).-

Son areniscas litificadas por cemento arcilloso, cuyo tenor influye de forma marcada sobre las cualidades de las mismas como acuífero.-

6.111 - Circulación del agua

Siendo rocas porosas la circulación de agua se hace

//

a través de los poros dejados por el cemento cuando este no alcanza a llenar todos los espacios intergranulares. La granulometría dominante de la roca es de arenisca fina a media. Se tendrán por tanto como factores influentes en la circulación de agua en estas areniscas, los siguientes elementos:

- a- variaciones granulométricas.— La granulometría puede variar por diversificación del diámetro de los granos, en general pequeños, o por variaciones del tenor de arcillas.
- b- naturaleza de la cementación.— El cemento de estas areniscas en general es arcilloso, lo que tiende a obstruir los espacios intergranulares. Ocasionalmente y en casos locales es calcáreo, lo que solamente mejora bajo la acción del tiempo las condiciones de flujo, si el agua consigue removerlo por disolución. El cemento silíceo que aparece raras veces, da a la arenisca las mismas características de las rocas cristalinas.
- c- presión.— La presión transmitida por la columna hidrostática, debido al buzamiento de los estratos así como al peso de la cobertura basáltica, influyen mejorando las características de transmisibilidad de las areniscas.

De un modo general la circulación en las areniscas de Tacuarembó se efectúa de E a W, acompañando el buzamiento de los estratos. Siendo el buzamiento regional del orden de 1º, llega a tener una gran influencia sobre las posibilidades de obtención de niveles piezométricos a alturas de bombeo económico, y aún de artesianismo en el reverso de la Cuesta.—

Las fallas que acompañan el eje tectónico Bella Unión-Paso de los Toros, desconectaron la Arenisca de Tacuarembó a lo largo de este eje, determinando acuíferos aislados a ambos lados del mismo.—

Este hecho parece quedar bien evidenciado por las características geoquímicas del agua captada en las areniscas, de acuerdo a los datos de CASTAGNINO (1966). El análisis de las aguas del pozo de Tranqueras, situado en la parte frontal de la Cuesta, dió un índice geoquímico de + 32.6, en tanto que el mismo índice, para el agua de la perforación de Arapey, en la porción W del área basáltica, fue de - 21.3. Estos valores indican que las primeras son mucho más nuevas que las segundas. A nuestro modo de ver, esa diferencia se debe a que la acumulación de agua en los acuíferos al E y W del eje tectónico mencionado, se produjo en diferentes épocas. En tanto que las areniscas que afloran en la porción frontal de la Cuesta representan el área actual de recarga de las areniscas infrabasálticas situadas al E del eje, las areniscas situadas al W están desconectadas de estas por fallamiento probablemente Cretáceo, lo que sugiere que las aguas de Arapey son posiblemente fósiles.—

//

Como ya se ha señalado al tratar la estructura geológica del área, el sustrato infrabasáltico se caracteriza por una compartimentación en bloques, que seguramente ha desconectado los estratos de arenisca a lo largo de diferentes fallas. Estos hechos plantean una serie de problemas a ser resueltos, especialmente por la aparentemente total desconexión de las areniscas infrabasálticas al E y W del eje Bella Unión- Paso de los Toros:

- 1.- ¿cuál es el área de recarga de las areniscas aisladas del W?
- 2.- ¿cuál es la intensidad de esa recarga?
- 3.- ¿o constituyen acuíferos aislados de poca o ninguna recarga?

6.112 - Rendimiento

La Areniscas de Tacuarembó constituyen el mejor acuífero regional en cuanto a rendimiento seguro de las perforaciones, respecto a todas las demás formaciones que se desarrollan en el área basáltica. Constituyen un acuífero donde cada pozo perforado representa una garantía de obtención de agua, si bien no tanto desde el punto de vista de caudales. Los datos computados en relación a caudales obtenidos en las areniscas, indican un rendimiento grande en el área que circunda Rivera, rendimiento que disminuye en forma marcada para el S y el W.-

Las areniscas infrabasálticas presentan rendimientos medios superiores a las que afloran al E del frente de la Cuesta, sino se toma en cuenta el caso excepcional de Rivera. Las ciudades de Rivera y Livramento (Brasil), están situadas en un área de 5 a 10 km de radio, en la que los pozos presentan rendimientos muy elevados ($100 \text{ m}^3/\text{h}$ o más), que no pueden ser considerados como los normales de la formación.-

Las perforaciones realizadas en las areniscas descubiertas en la parte frontal de la Cuesta, dan un rendimiento medio de $6 \text{ m}^3/\text{h}$, en tanto que los pozos que atraviesan el basalto y penetran en la arenisca subyacente (en la porción E del área), alcanzan por término medio descargas de $8 \text{ m}^3/\text{h}$. Estas diferencias existentes entre el rendimiento de la arenisca en una y otra parte, se deben posiblemente a la presión hidrostática ejercida por la columna de agua que se filtra desde el E.-

Según CASTAGNINO (1966), los rendimientos obtenidos en las areniscas de los alrededores de Rivera, son de $149 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$ de depresión, con un coeficiente de almacenamiento de 5.6×10^{-3} , lo que debe tomarse como indicativo de un reservorio muy restringido. Las características anormales de la circulación del agua en las areniscas de esta zona, están posiblemente en relación con el microclima de Rivera y sus alrededores. En

//

efecto, los factores climáticos particulares de esta zona, han provocado una alteración y una lixiviación locales considerables, que pueden haber afectado en gran medida la porosidad de la roca. La intensidad de la alteración es ya observable fácilmente en la pigmentación rojo fuerte de las areniscas de la zona.-

En la perforación de Arapey, el mismo autor determinó valores muy elevados para Tacuarembó, que tampoco sirven como datos medios para la formación entera, ya que en esa parte, próxima al río Uruguay, el agua soporta una presión hidrostática muy elevada, lo que puede llevar a otras formaciones menos permeables, a contribuir con una parte relativamente importante de la descarga.

6.113 - Calidad del agua

No disponemos de datos concretos en relación a la calidad del agua. El citado trabajo de CASTAGNINO (1966) es el más completo hasta ahora sobre este asunto y permite tener una idea sobre el problema.-

De una manera general puede señalarse que el agua proveniente de las areniscas de Tacuarembó, se presenta en condiciones físico-químicas que la hacen perfectamente apta para su utilización con finalidades agrícolas y sanitarias. En la proximidad de filones y sills de basalto, la calidad del agua puede verse afectada por un tenor elevado de hierro, que incluso puede llegar a hacerlas inutilizables. Los valores relativamente elevados de calcio ocasionalmente observados en estas aguas, se deben posiblemente a la cementación por calcáreo, que con alguna frecuencia ha sido observada en muestras provenientes de perforaciones.-

6.12 - Aspectos hidrogeológicos de los basaltos

En forma general los basaltos, cuya descripción se ha dado en el parágrafo 4.25, no pueden ser considerados como excelentes acuíferos. Las características observadas en centenas de perforaciones, indican que el basalto como acuífero se comporta muchas veces de manera bastante imprevisible.-

Sin embargo, los elementos de juicio obtenidos en este trabajo, permiten establecer que desde el punto de vista geológico la tectónica controla el rendimiento de los pozos en basalto, dándose una clara correlación entre la mayor o menor intensidad de ruptura de la roca con el volumen de agua obtenido en la región.-

De manera general, pueden definirse los siguientes elementos que influyen en el rendimiento de los acuíferos:

A.- Elementos positivos

- una gran intensidad de los fenómenos tectónicos que

//

afecte todo el conjunto basáltico, puede desenvolver fracturas capaces de establecer interconexión con las diaclasas desarrolladas individualmente en cada colada

- una gran extensión en las diaclasas desempeña también un papel muy importante, pues cuanto más extensas, tanto mayor número de otras direcciones intersectan, determinando una red más completa de circulación
- una alta densidad o frecuencia de las diaclasas, también es favorable pues cuanto mayor es el número de fracturas, mayor es el volumen de agua que circula y mayor la capacidad colectora del sistema
- si diaclasas de gran extensión intersectan diaclasas de gran frecuencia, se tienen las condiciones más ventajosas para la circulación del freático
- las diaclasas de alivio de tensión tectónica, por su naturaleza abierta, principalmente cuando resultan de esfuerzos de tensión, constituyen las mejores líneas de circulación, pudiendo producir niveles de contribución excepcionales
- las líneas de brechas tectónicas si no están mineralizadas, representan también zonas de gran importancia hidrogeológica

B.- Elementos negativos

- la inexistencia de líneas tectónicas que seccionen la totalidad de los basaltos, es desfavorable
- la presencia de mineralización secundaria en las diaclasas puede impedir el flujo de agua, pues las líneas de circulación pueden estar parcial o completamente cerradas
- por esta misma razón, las facies tectónicas que han sido acompañadas de inyecciones hidrotermales, normalmente condicionan áreas de muy pocas posibilidades de agua
- la proximidad del contacto con las areniscas infrayacentes es poco favorable para la circulación por fracturas, dado que estas generalmente se presentan obliteradas por diques de areniscas silicificadas, que se han inyectado desde abajo acompañando flujos hidrotermales sin-efusivos

6.121 - Circulación del agua

De modo general, la circulación del agua en los basaltos Uruguayos y Sur Riograndenses, se realiza a través de las diaclasas, no pudiendo ser comparable a la de los basaltos más modernos que ocurren en áreas orogénicas jóvenes, donde los caudales de los pozos alcanzan cifras del orden de varios centenares de m³/h. Los basaltos modernos que se presentan acompañados de fases eruptivas explosivas, a diferencia de los basaltos de Arapey, poseen potentes niveles de cenizas volcánicas y tufos,

//

que se comportan como grandes reservorios reteniendo volúmenes fabulosos de agua; que pueden ser fácilmente cedidos.

Los basaltos de Arapey, parte integrante de los basaltos de Serra Geral de la cuenca del Paraná, no presentan las características mencionadas líneas atrás. Son siempre de carácter más o menos masivo, desarrollando una soldadura muy grande entre derrames sucesivos, que se manifiesta generalmente como un nivel vitrificado o extremadamente diaclasado subhorizontalmente, acompañando la superficie del derrame inferior. Estas diaclasas subhorizontales de las zonas de contacto, constituyen superficies de gran pérdida de carga para la circulación del agua.

Las vacuolas o amígdalas se presentan en su casi totalidad, como células aisladas por las cuales la circulación se torna posible a través de fracturas, pues estos niveles se comportan prácticamente como rocas impermeables. Principalmente cuando las vesículas están rellenas por minerales secundarios (amígdalas), dado que originalmente son aisladas y secundariamente obstruidas, es prácticamente imposible la circulación a través de ellas.

Son raros los casos en que una fuerte emanación gaseosa sin-efusiva ha permitido la formación de canales intraderrames, en cuyo caso pueden obtenerse grandes volúmenes de agua. En Río Grande do Sul (Brasil), este fenómeno se presenta en un porcentaje inferior al 0.2 % de los casos (HAUSMAN, 1962-1966).-

La idea corriente en Uruguay de que la circulación de agua en los basaltos está íntimamente relacionada con el contacto de los derrames o con la parte vacuolar superior de cada colada. (escorial), no recibe ningún apoyo del estudio litológico de los testigos de perforaciones, ni del análisis estadístico de los mismos, ni del estudio de surgencias en el área basáltica.-

El estudio litológico de los testigos de perforación, realizado en base a los pozos del I.G.U., y el análisis estadístico de los resultados, mostraron claramente la completa desvinculación existente entre los niveles de contribución (entradas de agua) y los llamados "escoriales", dando en cambio fuerte apoyo a la idea de que la circulación del agua en el basalto, se produce principalmente por fracturas. Los resultados de este estudio, expresables en porcentaje de entradas de agua observadas en los diferentes tipos litológicos que normalmente se encuentran en una perforación para agua en basalto, pueden resumirse en la siguiente forma:

- niveles de contribución, en basalto litológicamente no identificado.....	9.1 %
- niveles de contribución en basalto vacuolar o amigdaloides.....	22.4 %
- niveles de contribución en basalto masivo.....	46.0 %
-niveles de contribución en arenisca infrabasáltica.....	22.4 %

././

Considerando sólo los casos en que las entradas de agua observadas se han producido en basalto de naturaleza litológica bien definida, se verifica que la proporción de agua que entra por el cuerpo masivo de las coladas, es doble de la que se observa en zonas basales y techo de las mismas. Esto indica claramente un control de la circulación por parte de las diaclasas y no por los contactos, máxime si se tiene en cuenta que las diaclasas que han afectado a la parte masiva, también pueden haber interesado a las partes vacuolares y amigdaloides.

Teniendo en cuenta que los espesores medios determinados para niveles masivos y vacuolares o amigdaloides dan una relación $B_{mas}/B_{vac} = 0.18$; teniendo en cuenta que toda fractura tectónica que afecte al basalto, afecta indistintamente a todas las litologías, y sabiendo además que las diaclasas de enfriamiento afectan principalmente al cuerpo masivo de la colada pero pueden llegar a afectar a los niveles superiores, se demuestra a partir de los datos dados anteriormente, que en el 66 a 80% de los casos, los niveles de contribución en basalto corresponden a agua que circula por fracturas.

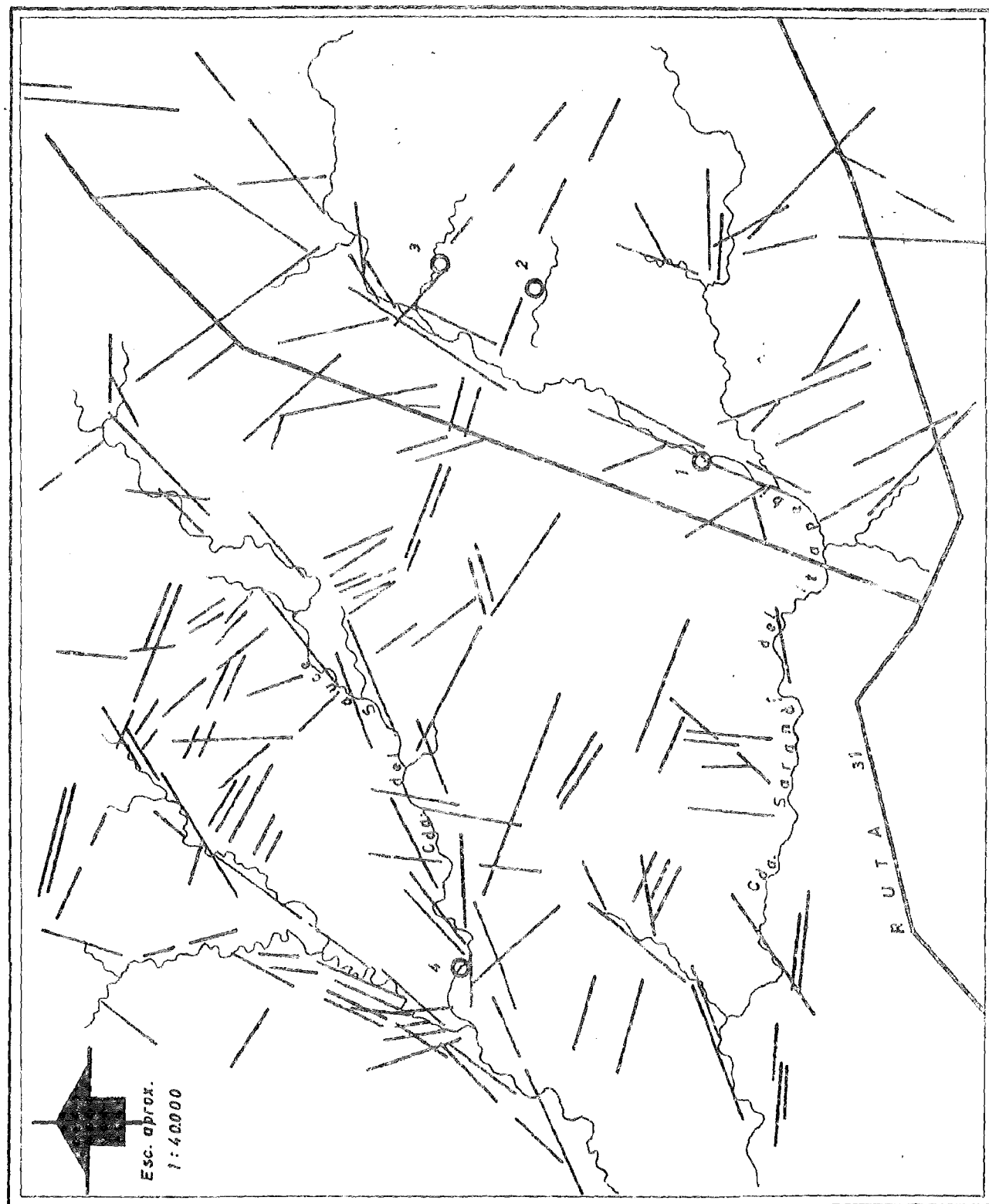
Por otra parte, la Carta tectónica y de surgencias del extremo S de Colonia Rubio (dpto de Salto) que se presenta en la página 54, muestra inequívocamente la existencia de una estrecha relación entre las líneas tectónicas y las fuentes. En esta Carta las diaclasas y / o fallas se han representado en trazos continuos rectilíneos de acuerdo a los datos obtenidos en la fotointerpretación correspondiente y a los datos de campo, y las fuentes o surgencias de la zona, se han representado con pequeñas circunferencias.--

Las cuatro surgencias son permanentes y no acusan interrupción durante los estiajes normales, siendo las señaladas con los números 2 y 4 las más importantes. La surgencia Nº 2 era conocida como un gran ojo de agua permanente ubicado en una larga ladera en una colina de pendiente suave. Este ojo de agua fué "limpiado" y profundizado en forma de cono invertido, teniendo actualmente 3 m de diámetro y 1m 50 de profundidad. Esta surgencia está claramente relacionada a una fractura de rumbo N70W, y ocurre en basalto vacuolar con vacuolas intercomunicadas. El caudal de esta fuente puede estimarse en 500 a 1000 lt/h.--

La otra surgencia de importancia es la Nº 4 que prácticamente está en el cauce de la Cañada del Sauce, que drena al Itapetí, en el cruce de importantes y numerosas líneas de fractura, de las que se destacan las de rumbo N65E, N70W, y N85E. En verano, el curso superior de esta cañada se seca hasta la fuente, donde la surgencia es permanente con cualquier período de estiaje. En algunos puntos del fondo arenoso de la cañada, el agua surge con impulso suficiente como para levantar fácilmente partículas de 2 mm de diámetro. El basalto observado en las cercanías de la fuente es de carácter masivo, con escasas y dispersas vacuolas.

Las restantes surgencias del área, también están relacio-

CARTA Tectónica y de Surgencias del Extremo Sur de COLONIA RUBIO



//

nadas a fracturas, lo que es un índice claro de que la circulación del agua en basalto, está controlada por las diaclasas.-

Por otra parte la observación de los pozos para agua de Colonia Rubio, revela que pozos de pequeña profundidad muestran caudales muy elevados que por término medio oscilan entre 10.000 y 16.000 lt/h, dándose algunos con mucho menor caudal aunque en número muy reducido. Estos elevados caudales son a relacionar con la gran densidad de fracturas que se observa en Colonia Rubio, la que está localizada sobre el importante eje tectónico Constitución-Tambores.-

Otro elemento de juicio ilustrativo respecto a la circulación del agua en basalto es suministrado por los resultados dispares obtenidos en perforaciones próximas. En el poblado Sequeira (departamento de Artigas) por ejemplo, dos pozos perforados en el Hospital local en una zona topográficamente elevada, uno de 79 m y otro de 244 m de profundidad, resultaron secos, en tanto que otro pozo perforado próximo a la carretera cerca de una cañada, dió 4.400 lt/h con 30 m de profundidad. Si la circulación en los basaltos fuese horizontal (a través de niveles vacuolares), no sería posible esta anomalía. Solamente admitiendo una circulación por fracturas pueden explicarse satisfactoriamente casos como éste.

A este tipo de circulación "por fracturas", deben vincularse las observaciones realizadas por compañías perforadoras particulares (COOPERPOA), que aunque en forma empírica han llegado a establecer que las perforaciones realizadas en cañadas y zonas bajas presentan generalmente caudales más elevados que las realizadas en cuchillas. A pesar del carácter cualitativo de la información, esta es coincidente con las observaciones por nosotros realizadas y tiende a confirmar la hipótesis de la circulación por diaclasas, ya que el drenaje en el basalto está bastante controlado por la tectónica.

De acuerdo a todos los hechos señalados nos parece suficientemente probado que la circulación de agua en los basaltos uruguayos es típicamente la de rocas fracturadas, lo que deberá tomarse como norma para la búsqueda de aguas subterráneas en estos materiales, teniendo en cuenta los factores señalados en el parágrafo 6.12.-

Estando suficientemente probado que la circulación de agua en los basaltos se realiza principalmente por fracturas, cabe señalar la influencia del tipo de fractura en la misma.

Principalmente los basaltos se ven afectados por fracturas de dos tipos:

- fracturas tectónicas: generalmente muy extensas con un ancho del orden de algunos metros, que afectan en profundidad a todo el conjunto basáltico e inclusive a las rocas subyacentes. Estas fracturas establecen o pueden establecer conexión entre las distintas coladas y son las vías de la circulación mayor, obrando como líneas colectoras, a la vez que alimentadoras de la circulación menor.

//

- Los cursos de agua que conforman la red de drenaje superficial, se encajan generalmente en estas fracturas, por lo que estas son a la vez, las principales vías de recarga de agua en basalto.-
- diaclasas de enfriamiento: generalmente muy numerosas, poco extensas y de desarrollo vertical o subvertical, con un ancho del orden de algunos centímetros, tienden a desarrollarse determinando una grosera separación en columnas subverticales. Afectan principalmente a la parte masiva de las coladas, y en general no dan lugar a conexión entre coladas sucesivas. Estas diaclasas de enfriamiento constituyen las vías de la circulación menor, y pueden dar lugar a la existencia de napas freáticas independientes en diferentes coladas.-

6.122 - Rendimiento

Como ya fué anteriormente establecido, los basaltos como acuíferos son bastante irregulares, dependiendo su rendimiento de una serie de factores geológicos convergentes. Razones de orden teórico, así como comprobaciones prácticas, conducen a que los caudales obtenidos en una misma área son extremadamente irregulares, dependiendo del punto en que se realizan las perforaciones. Sin embargo, manteniendo un criterio racional de selección para la localización de los pozos en zonas basálticas, se puede esperar cierta uniformidad de rendimiento, dentro de límites no muy rígidos.-

El levantamiento catastral de los pozos perforados por el I.G.U., da una idea suficientemente clara de la variabilidad, observándose generalmente una predominancia de caudales dentro de ciertos límites. El resultado de un doble análisis cuali y cuantitativo, llevó a las siguientes conclusiones:

- los basaltos cuyas vías de circulación secundaria están obliteradas por mineralización (diaclasas de enfriamiento rellenas parcial o totalmente), inyecciones de "areniscas" u otras causas, dan un alto porcentaje de pozos secos. Este porcentaje puede llegar a más del 60 %. En estos casos, los caudales más frecuentes de los pozos positivos son menores a $2 \text{ m}^3/\text{h}$, aunque pueden encontrarse pozos de mayor caudal; si están localizados en fracturas tectónicas.-
- los basaltos que se presentan con una baja densidad de fracturación tectónica, dan pozos cuyo caudal muestra un máximo entre 2 y $4 \text{ m}^3/\text{h}$.-
- los basaltos cuya disyunción se presenta con intensidad moderada, dan rendimientos del orden de los $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Muchos pozos de Salto y Paysandú, situados relativamente próximos a áreas tectonizadas, presentan caudales entre 6 y $8 \text{ m}^3/\text{h}$, en tan-

//

to que los pozos con caudales de 2 a 4 m³/h , se presentan en menor proporción.

- los basaltos que presentan una alta densidad de fracturas tectónicas por encontrarse dentro de fajas tectonizadas, muestran un alto porcentaje de pozos con rendimientos del orden de 10 a 15 m³/h . Pueden citarse como ejemplo los pozos de Colonia Rubio (Salto) y Bella Unión (Artigas). En esta última localidad, algunos pozos alcanzan caudales de 60.000 lt/h , siendo muy frecuentes caudales del orden de los 20 m³/h.-

Es seguro que el rendimiento de los pozos perforados para agua en zonas basálticas sea bastante más elevado que los valores medios actuales, una vez que la localización de los mismos obedezca a los criterios geológicos establecidos en este trabajo.-

6.123 - Calidad del agua

No se dispone de datos completos acerca de la calidad de las aguas obtenidas de los basaltos, por falta de análisis sistemáticos de Mg, Na, K, Fe, Mn, sulfatos y a veces fluoruros. Puede señalarse sin embargo, que desde el punto de vista químico las aguas de los basaltos uruguayos pertenecen al grupo de las bicarbonatadas. Por término medio la dureza de estas aguas expresada en CaCO₃ es de 200 a 220 ppm (dureza total), siendo muy frecuentes valores de 200 a 300 ppm. Los cloruros generalmente se presentan en proporciones inferiores a 25 ppm, aunque en un 10 % de los casos, se han constatado valores superiores a 50 ppm. El Ca se presenta en proporciones que por término medio corresponden a 55 - 60 ppm, siendo muy frecuentes los valores comprendidos entre 20 y 80 ppm. Elementos como Fe, Mn y F, ocurren con cierta frecuencia en estos acuíferos en tenores capaces de comprometer su utilización. HAUSMAN (1966), cita varios casos en que los tenores de Fe y en menor proporción F de aguas de basaltos de Río Grande del Sur, alcanzan concentraciones bastante elevadas, francamente por encima de los valores establecidos como límites por las normas A.W.W.A.

De un modo general, puede establecerse que el agua obtenida en casi el 80 % de los casos, presenta buenas cualidades físico-químicas, siendo apta para usos domésticos.

6.13 - Aspectos hidrogeológicos de las formaciones Suprabasálticas

Las formaciones Suprabasálticas descritas en los párrafos 4.26 y 4.27 , localizadas en la porción SW del área en estudio, interesan al presente trabajo en la medida que esa zona se integra al complejo Geo-humano regional.

Se trata en general de formaciones sedimentarias de granulometría y cementación muy variables, cuyas características estructurales ya descritas en el párrafo 4.34, dan una idea bastante aproximada de su importancia regional como acuífero, principalmente en lo que tiene que ver con la delimitación de

áreas de diferentes posibilidades hidrogeológicas.

Desde el punto de vista hidrogeológico las formaciones Suprabaálticas presentan una diferenciación acentuada pudiéndose considerar como acuífero importante solamente la Formación Mercedes, cuyo relevamiento detallado será de gran importancia para el problema.-

6.131 - Circulación del agua

Tratándose de rocas sedimentarias, la circulación del agua se realiza en general por entre los poros de las rocas, variando sus características con la granulometría y la cementación del material integrante de cada nivel litoestratigráfico.

La circulación general de las aguas subterráneas en las formaciones suprabasálticas, se produce de NE a SW acompañando el buzamiento al SW de los estratos, a no ser cuando ocurren desvíos provocados por variaciones locales de permeabilidad debidas al aumento del tenor de cemento, fracturación etc.

En las rocas sedimentarias de grano relativamente grueso y de escaso contenido de material cementante, la circulación mayor se verifica por entre los espacios intergranulares, en tanto que en los sedimentos más arcillosos y/o más cementados, esta puede establecerse por entre las diaclasas, acercándose en su comportamiento al de las típicas rocas fisuradas.

Dentro del conjunto de rocas Suprabasálticas se debe considerar como la de mayor importancia la Formación Mercedes. Esta presenta frecuentemente estratos de arenas gruesas poco cementadas (ver parágrafo 4.262), en los que suele observarse en los afloramientos una fuerte saturación por agua (FERNANDEZ - TECHIRA, 1966). Esta formación representa el mejor acuífero regional y en función de su estructura, permite hacia el SW un artesianismo de carácter semisurgente.-

Como ya fué establecido, la circulación en las rocas muy cementadas tales como las silicificadas y/o ferrisilicificadas, se produce predominantemente por las líneas de disyunción, por lo que el estudio detallado de la tectónica que ha afectado a estas formaciones puede dar una valiosa información a efectos de evaluar las posibilidades de estos materiales como acuíferos.-

6.132 - Rendimiento de los acuíferos

No se dispone actualmente de datos suficientes para realizar un estudio cuantitativo completo de las diferentes formaciones. En este trabajo ha sido apenas posible indicar las variabilidades observadas de rendimiento en función de las litologías. En este sentido es posible establecer:

- la Formación Guichón, depositada directamente sobre basalto, por la naturaleza de su cementación montmorillonítica constituye un acuífero bastante irregular en rendimiento, dando en general caudales del orden de 3 m³/h. Tal vez puedan obtenerse caudales mayores en los lentes conglomerádicos intercalados en las areniscas, los cuales

//

sin embargo por problemas de falta de recarga, pueden conformar acuíferos en los que los pozos resulten temporarios o fluctuantes con relación a la descarga.

- la Formación Mercedes, puede dar rendimientos bastante elevados, especialmente en el W y SW del área, donde pueden obtenerse caudales del orden de 15 - 20 m³/h o más a profundidades relativamente pequeñas. En todos los casos, la ubicación del pozo respecto a los límites de la formación y especialmente su mayor o menor alejamiento del río Uruguay, influyen considerablemente en los caudales a esperar de los mismos. Esta formación constituye un elemento al que debe prestarse la máxima atención.
- la Formación Asencio por su carácter litológico conforma un acuífero de rendimientos bastante bajos aunque relativamente constantes, dándose frecuentes variaciones locales. En los alrededores de Fray Bentos - Mercedes, estas areniscas dan en promedio caudales de 4 a 5 m³/h. El miembro ferrisilicificado superior (Palacio), da posibilidades de circulación por diaclasas siendo de esperar rendimientos talvez un poco mayores, aunque no se han realizado aún pozos ubicados de acuerdo a este criterio.
- Las formaciones Cenozoicas de esta zona presentan en general bajos rendimientos, especialmente Fray Bentos, en tanto que la Formación Salto es más irregular dado que las posibilidades de agua están íntimamente relacionadas con la mayor o menor silicificación del material.

Numerosos datos sobre perforaciones realizadas en estas formaciones, han sido dados por BUQUET (1943).-

6.2 - ZONEAMIENTO HIDROGEOLOGICO

El análisis de los elementos tectónicos, geológicos y estratigráficos demuestra que existe una correspondencia bastante grande entre las condiciones de circulación, rendimiento y captación de aguas subterráneas en el área estudiada.

A la vez, según quedó establecido en el párrafo 6.12, la tectónica tiene un papel importante en el caudal de los pozos en el área basáltica, siendo por tanto un elemento de diferenciación de áreas en cuanto a las condiciones naturales de captación. Otro factor que influye diferenciando las áreas por sus características, es la oclusión hacia el S de las areniscas de Tacuarembó, y la superposición de basalto sobre rocas sedimentarias Permianas y Devonianas en el extremo S del área basáltica. Esta diferenciación natural en áreas de distintas características, fundamenta el zoneamiento Hidrogeológico que aquí se establece.-

//

El zoneamiento aquí propuesto representa una tentativa de sistematización y como tal se presenta, sin pretender que se trate de una sistemática definitiva, dado que son aún relativamente pocos los elementos de que se dispone. Con mayores datos y trabajos complementarios, así como con nuevos trabajos de interpretación, serán viables ajustes, modificaciones o ampliaciones del zoneamiento presentado.

Básicamente pueden establecerse con carácter ya definitivo tres Provincias Hidrogeológicas nítidamente diferenciadas, en tanto que las subdivisiones establecidas para el área basáltica tienen carácter provisorio y son susceptibles de futuras modificaciones.

Las Provincias definidas con carácter definitivo son:

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| - PROVINCIA TACUAREMBO | ver Mapa de Zonas de |
| - PROVINCIA BASALTICA | Posibilidades hidrogeo- |
| - PROVINCIA CRETACEA | lógicas (al final) |

La subdivisión de la Provincia Basáltica en Zonas de posibilidades Hidrogeológicas, diferenciadas tanto desde el punto de vista de captación como de caudales, tiene por finalidad dejar establecidas estas claras diferencias zonales de comportamiento, que no obstante no han mostrado aún caracterización suficiente como para justificar una jerarquización en Provincias.

6.21 - Provincia Tacuarembó

Esta Provincia queda definida por las áreas de afloramiento de las areniscas de Tacuarembó en la parte frontal de la Cuesta, expuestas en una superficie alargada de N a S, limitada por la escarpa basáltica al W y por el contacto con rocas Gondwánicas Neo-paleozoicas al E. No se incluyen en esta Provincia las areniscas sub-basálticas.

Algunas de las principales características de esta Provincia ya fueron descritas en el parágrafo 6.11, y en tal carácter pueden señalarse las siguientes:

- es un área de captación segura, en la que los pozos perforados presentan caudales del orden de $6 \text{ m}^3/\text{h}$ o más.
- condiciones locales de alta permeabilidad, permiten caudales del orden de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ (alrededores de Rivera).
- pueden observarse variaciones locales de rendimiento, debidas a variaciones del tenor de cemento arcilloso o a silicificación de la arenisca.
- el caudal medio de los pozos, baja levemente de N a S y de W a E, debido a la disminución del espesor de la formación en estos sentidos, y al efecto superpuesto de la topografía.
- en razón de condiciones topográficas y morfológicas que determinan que la superficie actual de la arenisca erosionada se presente entre 100 y 150 m por encima del nivel del mar, no es posible el artesianismo surgente en la gran mayoría

//

del área.

- esta zona representa el área de recarga para las areniscas infrabasálticas.
- esta Provincia está en contacto con la Provincia Basáltica al W, en la línea de quicbre de pendiente que señala el Frente de la Cuesta.--

6.22 - Provincia Basáltica

La Provincia Basáltica, que constituye el mayor objetivo del presente trabajo, presenta condiciones diversificadas de acuerdo a la estructura geológica y a las modificaciones condicionadas por la acción tectónica.

Los elementos tomados en cuenta para separar Zonas de posibilidades Hidrogeológicas dentro de esta Provincia son los siguientes:

- espesor del basalto superpuesto a la arenisca
- intensidad del tectonismo y modificaciones estructurales producidas por el mismo
- tipo de roca subyacente en las áreas de relativamente pequeño espesor de basalto

Estos son elementos muy importantes pues diversifican no sólo los caudales a obtener, sino también las profundidades de captación del agua y aún las técnicas de localización de las perforaciones.

6.221 - Zona A

El elemento esencial que caracteriza esta zona es el relativamente débil espesor del basalto, y la posibilidad de alcanzar la arenisca subyacente en condiciones económicamente accesibles.-

Esta Zona se encuentra ubicada en la porción E del área basáltica, quedando limitada al W por el eje tectónico Bella Unión - Paso de los Toros, y al E por la escarpa que marca el frente de la Cuesta. Como ya ha sido anteriormente establecido, el eje tectónico mencionado separa áreas basálticas de espesores marcadamente diferentes, determinando en consecuencia un límite natural de la Zona A.

La Zona A, presenta las características de diferenciación que se señalan en lo que sigue.

Espesor del basalto.-

La observación del Corte geológico Nº 3 (pág. 29), muestra que la superficie superior del basalto, presenta un débil buzamiento hacia el W, lo que determina en la porción E de la Zona A, una ligera disminución general del espesor hacia el W, por ser algo menor el buzamiento del plano de base. Estas características determinan la posibilidad de alcanzar la arenisca subyacente a profundidades relativamente accesibles. Sin embargo, se observan variaciones en relación a esta norma general debido a la influencia de los diferentes factores que se señalan en lo que sigue:

//

- A.- Variaciones del espesor del basalto relacionadas a factores geográficos
 - alejamiento del borde de la Cuesta
 - recortamiento por el drenaje del reverso de la Cuesta
 - situación respecto al sistema de fallas
- B.- Variaciones del espesor del basalto relacionadas a factores genéticos
 - distinto espesor en las diferentes coladas
 - variación regional del número de derrames
 - existencia de pequeños "grabens" con diferenciación de espesor por escalonamiento y relleno basáltico

La aparición de ventanas de areniscas de Tacuarembó dentro de esta Zona, atestigua la existencia de áreas de pequeño espesor de basalto en esta Zona.

El espesor medio del basalto en la Zona A, puede establecerse en aproximadamente 200 m, siendo algo menor en el Departamento de Artigas, y mayor en el de Tacuarembó y N de Salto.

Comportamiento Hidrogeológico.-

En esta Zona, los resultados de los pozos perforados para agua son bastante variables, habiéndose observado en general que los mayores rendimientos provienen de pozos profundos que atraviesan la cobertura basáltica y tocan la arenisca infrayacente.

El rendimiento de los basaltos de esta Zona como acuíferos, se ve directamente afectado por la existencia o no de mineralización o de diques de arenisca inyectados en las diaclasas. Según ha podido observarse en numerosos puntos, las diaclasas de enfriamiento de las coladas próximas al contacto con las areniscas infrayacentes, están casi sin excepción inyectadas por diques y venas de arenisca que bloquean totalmente las posibles "vías" de la circulación menor. Este fenómeno es perfectamente observable en la Cantera de Vialidad de Paso Ataque (Dpto. de Tacuarembó).

Las consecuencias más importantes de la inyección de diques de areniscas en diaclasas de enfriamiento y aún a veces en diaclasas tectónicas, son un alto porcentaje de pozos negativos (en basalto) y bajos caudales en los positivos. Estos efectos son tanto más marcados cuanto más débil es el espesor del basalto en la Zona, lo que explica satisfactoriamente que el Departamento de Artigas muestre el más alto porcentaje de pozos negativos en basalto, observados en la Zona A.

En una gran proporción de los pozos perforados en esta Zona, los niveles de contribución provienen de las areniscas de Tacuarembó subyacentes, y con menor frecuencia de las areniscas intertrapp, aunque en este último caso, los rendimientos son bastante pobres.

Las areniscas infrabasálticas se extienden en forma continua desde el frente de la Cuesta, donde la Provincia Tacua-

//
rembó constituye el área de realimentación, hasta el eje tectónico Bella Unión - Paso de los Toros. Las areniscas infrabasálticas conforman un acuífero de rendimiento bastante uniforme, verificándose que los caudales obtenidos son del orden de 7 a 8 m³/h, lo que está por debajo de los valores previsibles para este material.

En el Departamento de Artigas, 60 % de los pozos computados dieron agua al atravesar la totalidad del basalto, lo que es índice del bajo rendimiento de los basaltos como acuíferos en esta Zona, en las condiciones actuales de localización de pozos.

Las características Hidrogeológicas de esta Zona, se presentan resumidas en forma de histogramas en la página 64. Se han graficado los datos correspondientes a profundidad de los pozos, caudales obtenidos y profundidad de los niveles de contribución útiles, para la Zona A en general. A la vez, se han establecido caudales y niveles de contribución separadamente para los pozos que alumbran agua en el basalto por un lado, y en las areniscas infrayacentes por el otro. En el histograma de "caudales en basalto", no se han incluido los pozos negativos.

En todas las gráficas (histogramas), se representan en ordenadas, número de casos observados en lugar de porcentajes, pues en esta forma es posible una mejor comparación con histogramas similares.

En la página 65, se presenta una perforación característica de la Zona A, en la que se señalan rasgos litológicos, espesores comunes de las distintas unidades, nivel de contribución etc. La localización de esta perforación se muestra en el Mapa de Zonas de Posibilidades Hidrogeológicas que se presenta al final del trabajo.

6.222 - Zona B

Esta Zona está situada en la porción occidental del área basáltica (ver Mapa de Zonas de Posibilidades Hidrogeológicas), al W del eje tectónico Bella Unión - Paso de los Toros, y sus elementos caracterizadores desde el punto de vista hidrogeológico, son casi exclusivamente de naturaleza estructural, relacionados al gran espesor del basalto en esa Zona.

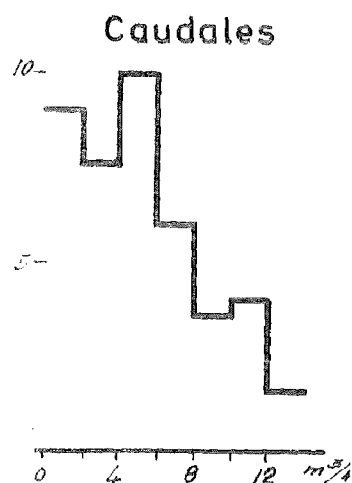
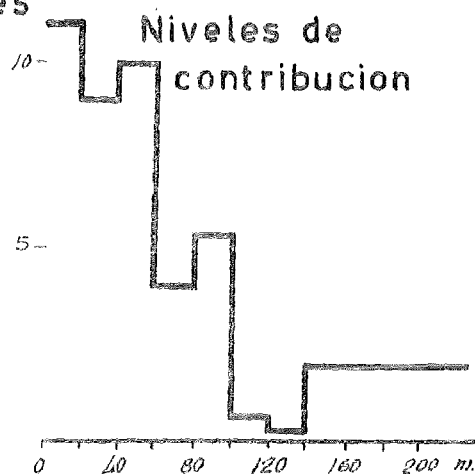
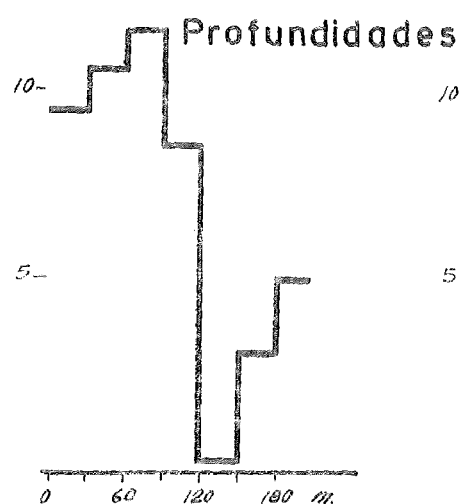
La Zona B queda limitada al S por la línea de oclusión de las areniscas de Tacuarembó infrabasálticas, y al SW por el borde de la cobertura Cretácea. Las características más importantes de esta Zona se señalan en lo que sigue.

Espesor del Basalto.

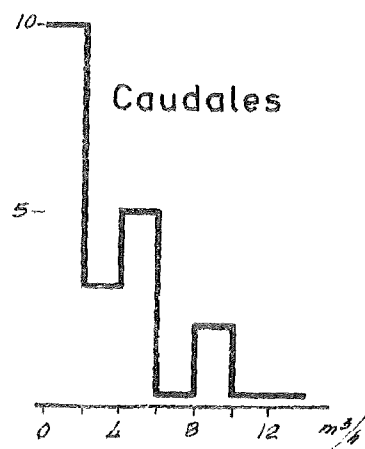
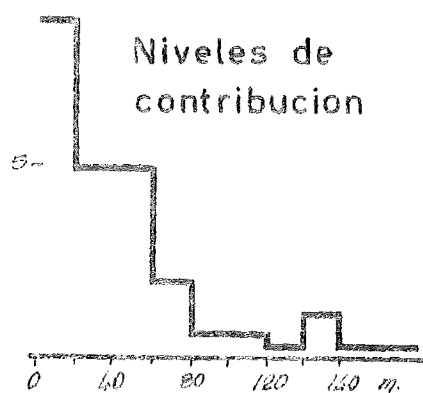
La observación de los Cortes Geológicos 3 y 4, muestra claramente el gran espesor de los basaltos en el W, lo que diferencia esta Zona de la anterior desde el punto de vista de las posibilidades hidrogeológicas. Los espesores del basalto son en general variables y acompañan los rechazos del sustrato cristalino, aunque manteniéndose siempre dentro del orden de algunos cientos de metros.

En general pueden señalarse respecto al espesor del basalto, las siguientes características:

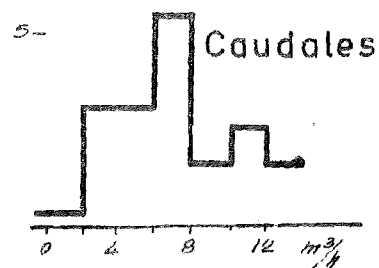
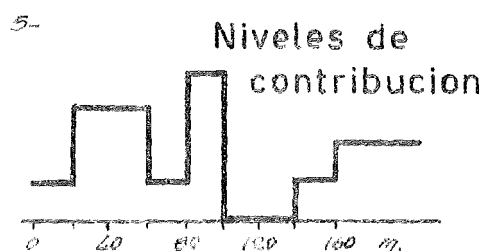
CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS de la ZONA A



Alumbramiento
en
BASALTO



Alumbramiento
en
ARENISCA



PERFORACION TIPO
DE LA ZONA A

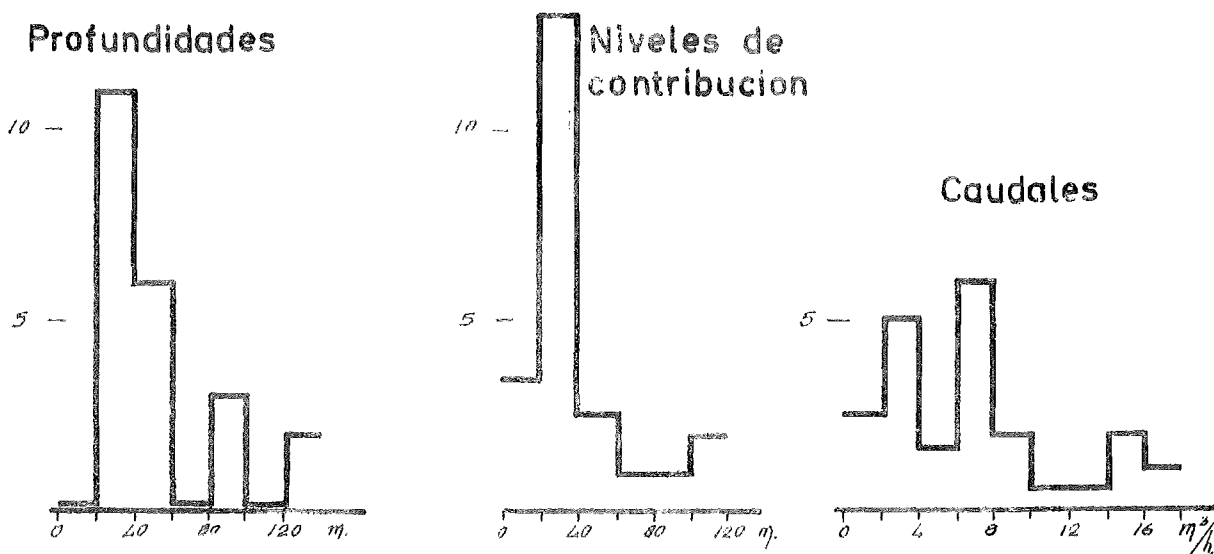


- basalto afanítico, masivo, de color negro
- basalto escoriáceo con amígdalas muy pequeñas de color pardo
- basalto afanítico masivo, de color marrón negro
- pequeño nivel con diferenciaciones gabroicas (de grano grueso)
- basalto afanítico masivo y de color negro
- brecha mineralizada
- basalto amigdaloides
- basalto afanítico, masivo, de color negro
- arenisca de grano fino a medio, bien seleccionada, cuarzosa, arcillosa, masiva, medianamente friable, de color claro (Formación Tacua-rembó)

//

- A.- la profundidad del plano estructural de contacto entre basalto y las formaciones subyacentes, nunca es inferior a 500 m
- B.- el basalto acompaña en general los escalonamientos en graben, presentando en grandes líneas tres agrupamientos en cuanto al espesor
- el basalto al S de Daymán presenta potencias que oscilan entre 350 y 600 m, disminuyendo gradualmente de N a S
 - entre Daymán y Arapey, el basalto presenta espesores del orden de los 900 m. Este puede considerarse el máximo espesor dentro de la faja tectónica Constitución - Tambores que define la Zona D
 - un tercer bloque situado entre Arapey y Bella Unión fuera del eje tectónico Bella Unión - Paso de los Toros, se presenta como un bloque no perturbado de espesor casi constante del orden de 500 m
- C.- las variaciones de espesor del basalto producidas por la acción de la erosión, están comprendidas dentro de valores que oscilan entre 50 y 80 m

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS de la ZONA B



//

Comportamiento Hidrogeológico.-

En la página 66 se han expuesto los datos cuantitativos relativos a las características hidrogeológicas de la Zona B, graficados en forma de histogramas.

Debido al gran espesor del basalto en esta Zona, no ocurren fenómenos de obstrucción de las diaclasas por diques de areniscas como en la Zona A. En consecuencia, las diaclasas de enfriamiento y las tectónicas, son generalmente abiertas por lo que permiten una circulación más amplia y una captación bastante segura.

El histograma de profundidades de perforación para pozos de esta Zona, muestra que en general los pozos presentan profundidades menores a 60 m. También el histograma de Niveles de Contribución revela una máxima frecuencia de los mismos, a profundidades inferiores a 40 m. Ambos fenómenos están estrechamente relacionados entre sí, y son índice de un estado favorable de las diaclasas para la circulación del agua subterránea. Esto repercute en la frecuencia de obtención de agua, la que es muy elevada en esta Zona, y en los caudales que muestran un máximo principal entre 6 y 8 m³/h.

Dado el gran espesor de la cobertura basáltica en esta Zona, no se dan condiciones económicamente viables para pequeñas empresas, para costear perforaciones capaces de atravesar el basalto a fin de captar el importante acuífero surgente representado por las areniscas de Tacuarembó (que en esta parte puede suministrar caudales del orden de varios cientos de m³/h).

Teniendo en cuenta las características señaladas para la Zona en conjunto, puede establecerse con carácter general, que la búsqueda de agua subterránea en los casos normales, debe basarse en el reconocimiento de las condiciones del padrón tectónico regional. La tentativa de alcanzar la arenisca, sólo es admisible en condiciones excepcionales con grandes inversiones de capital, y en el área situada al N del río Daymán, pues hacia el S del mismo la arenisca tiende a desaparecer.

Las cualidades físicas y químicas del agua son semejantes a las obtenidas en los basaltos de la Zona A.

En la página 68, se presenta una perforación característica de la Zona B, mostrando un perfil litológico completo, así como las posiciones de entradas de agua. En el mapa de Zonas de Posibilidades Hidrogeológicas, se da la ubicación de la perforación.

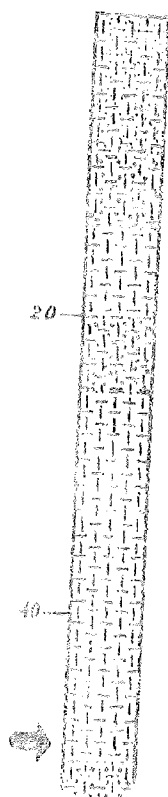
6.223 - Zona C

Esta Zona, situada al S de las Zonas A y B, no presenta en el estado actual de nuestros conocimientos, posibilidades de una separación bien definida de las anteriores.

La Zona A se extiende desde la probable línea de oclusión de las areniscas de Tacuarembó, hasta el contacto de este con el Cristalino y/o afloramientos de rocas Devonianas.

Los elementos que caracterizan a esta Zona son hetero-

PERFORACION TIPO
DE LA ZONA B



- regolito basáltico pardo
- basalto amigdaloides de color grisáceo marrón
- basalto masivo gris
- basalto amigdaloides de color marrón rojizo
- basalto masivo marrón rojizo
- basalto de textura afanítica y color marrón
- basalto amigdaloides marrón

//

géneos y compuestos, debido a la convergencia de distintos factores estructurales y estratigráficos, por lo que es posible dentro de la Zona, la existencia de pequeñas áreas de características hidrogeológicas diferenciadas.

La mayor característica estructural de la Zona C, es la desaparición en profundidad de las areniscas de Tacuarembó por acúñamiento hacia el S, a consecuencia de lo cual el basalto se apoya directamente sobre rocas Neo-Paleozoicas, Devonianas y Cristalinas.

Espesor del Basalto.-

El Corte Geológico N° 2 que se presenta en la página 29, muestra que el basalto se presenta en esta Zona con espesores no muy diferenciados, acusando variaciones dependientes de condiciones locales, ligadas principalmente al carácter terminal de las coladas y a fenómenos erosivos.

En líneas generales pueden señalarse las siguientes características respecto al espesor de los basaltos de esta Zona:

- el basalto se adelgaza en general de N a S (Salipuedes 200 m, Rincón de Bonete 150 m, Contacto y proximidades del contacto con Cristalino 5-10 m)
- ocurre una discontinuidad en cuanto a espesor en la falla de Paso de los Toros
 - al N de la falla, espesores mayores a 150 m
 - al S de la falla, espesores menores a 150 m
- en el área abarcada por el valle del Río Negro, la erosión rebajó una amplia faja, determinando espesores menores que los observados más al N

Comportamiento Hidrogeológico.-

Dada la heterogeneidad de esta Zona, y la falta de elementos para una más completa caracterización, no se han establecido gráficas de profundidades, niveles de contribución y caudales.

En base a la complejidad estratigráfica y estructural, existe una marcada variabilidad en el comportamiento Hidrogeológico de la Zona, determinada principalmente por los estratos subyacentes al basalto, y secundariamente por el espesor del mismo. En líneas generales pueden establecerse las siguientes características:

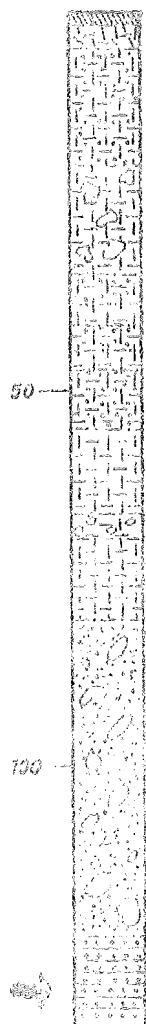
- los basaltos como acuíferos tienen sus rendimientos íntimamente relacionados con las características tectónicas regionales
- las rocas sedimentarias subyacentes al basalto de esta Zona, dan rendimientos y calidades de aguas variables, que dependen de la unidad estratigráfica en que son captadas
 - el Devoniano se presenta como un acuífero bastante regular con rendimientos del orden de $4 \text{ m}^3/\text{h}$, con cierta tendencia a rendimientos superiores en función del espesor cuando se capta en Cerrezuelo

//

- las rocas de la Formación San Gregorio - Tres Islas dan rendimientos menos significativos con marcada tendencia a valores bajos
- al N de la falla de Paso de los Toros, es bastante común encontrar en los sedimentos infrabasálticos aguas salobres; en el presente estado de nuestros conocimientos, se carece de una explicación satisfactoria y documentada para el origen de esta anomalía

A título de ejemplo y con carácter ilustrativo, se presenta una perforación que puede tomarse como característica de parte de la Zona. La ubicación de esta perforación se da en el Mapa de Zonas de Posibilidades Hidrogeológicas que se presenta al final del trabajo.

PERFORACION TIPO
DE LA ZONA C



- suelo y regolito basáltico
- basalto amigdalide marrón alterado, con diaclasas mineralizadas
- brecha volcánica de color marrón
- basalto masivo de color gris ceniza, con numerosas intercalaciones de delgados niveles de basalto amigdalide marrón
- basalto masivo de color gris ceniza
- basalto vacuolar marrón
- (basalto)
- tillitas rojas (Formación San Gregorio - Tres Islas)
- areniscas micáceas arcillosas laminadas rojas

//

6.224 - Zona D y D₁

Las Zonas D y D₁ aunque bien caracterizadas, no presentan límites bien definidos, dada la naturaleza de los ejes tectónicos a los cuales están estrechamente ligadas. El estudio estadístico reveló que en estas Zonas existían numerosos pozos de rendimiento superior al normalmente encontrado en otras áreas basálticas. La Zona D está encuadrada dentro de las fajas definidas por los ejes tectónicos Bella Unión - Paso de los Toros y Constitución - Tambores, en tanto que la Zona D₁ ocupa una faja tectonizada en menor grado que acompaña el curso del Río Uruguay, según puede observarse en el Mapa de Zonas de Posibilidades Hidrogeológicas que acompaña el trabajo.

Espesor del Basalto.-

En la Zona D, el espesor del basalto es relativamente heterogéneo, en función de la posición del mismo respecto a los ejes tectónicos. El basalto que ocurre en la faja tectonizada correspondiente al eje Bella Unión - Paso de los Toros, presenta espesores intermedios entre los de las Zonas A y B pudiendo estimarse que por término medio oscilan entre 200 y 400 m. El basalto que en cambio se extiende acompañando el eje tectónico Constitución - Tambores, es más potente aunque deben separarse claramente dos partes:

- la situada al W del eje Bella Unión - Paso de los Toros, con máximos espesores, crecientes hacia el W que pueden llegar a 900 m
- la situada al E del eje anteriormente mencionado con espesores talvez un poco mayores que los que normalmente ocurren en la Zona A.

El espesor de la Zona D₁ no es bien conocido, pero por razones estructurales puede suponerse que es bastante grande, seguramente comprendido en valores del orden de 500 a 900 m.

Comportamiento Hidrogeológico.-

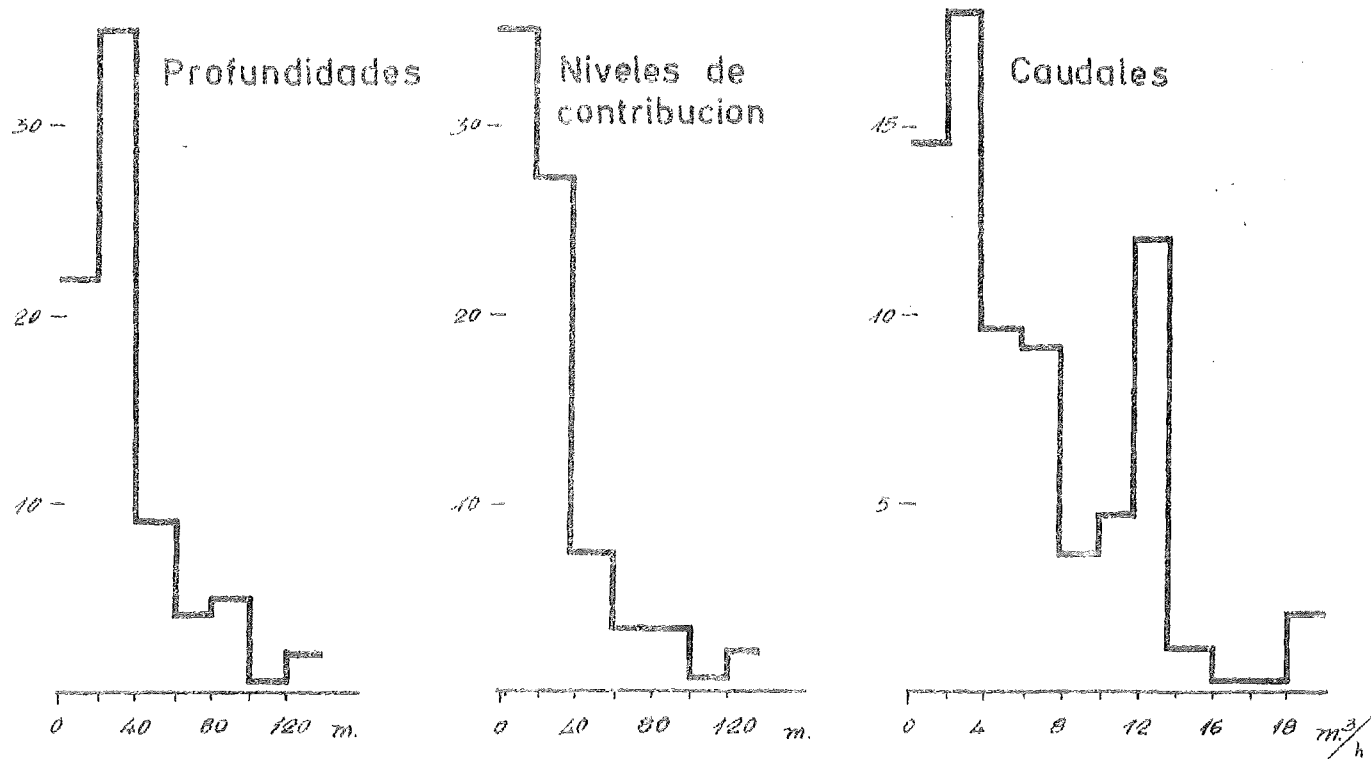
En base a las líneas generales establecidas en el párrafo 6.12, esta Zona se caracteriza por la posibilidad de pozos de gran rendimiento, lo que la diferencia de las zonas circundantes. La intensa disyunción provocada por el tectonismo en esta Zona, bastante mayor que en otras, es responsable de los caudales encontrados, principalmente en Bella Unión y Colonia Rubio.

En la página 72 se presentan gráficamente las características hidrogeológicas de las Zonas D y D₁.

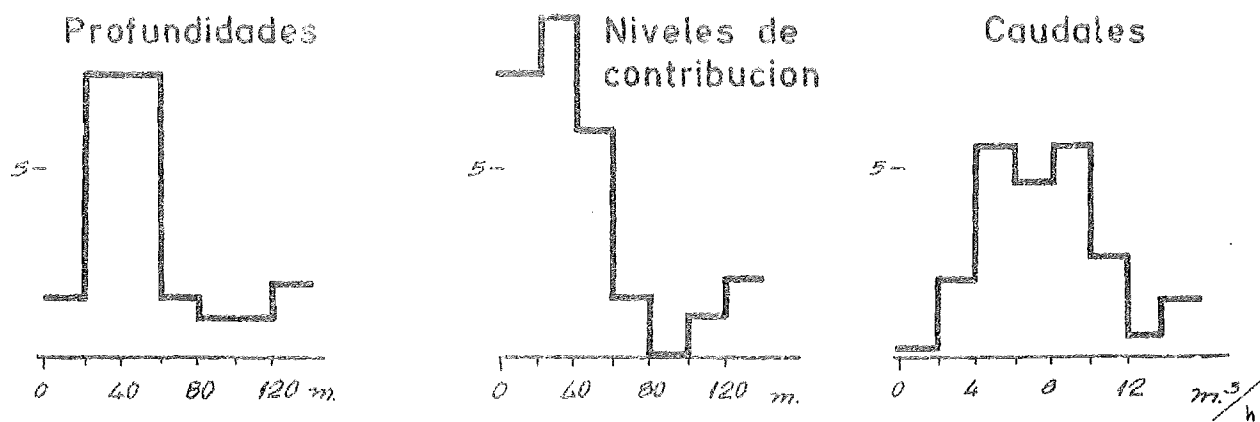
Para la Zona D pueden señalarse en particular los siguientes rasgos como típicos:

- son suficientes relativamente pequeñas profundidades para el alumbramiento de agua
- los niveles de contribución muestran una máxima frecuencia a profundidades menores a 20 m
- los caudales presentan en el histograma una típica distribución bimodal con un máximo en 2 a 4 m³ y otro entre 12 y 14 m³. Este segundo máximo corresponde a perforaciones seguramente emplazadas en fracturas tectónicas o en su proximidad.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS de la ZONA D



CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS de la ZONA D₁



Form. Salto
Form. Fray Bentos
Form. Arapey

PERFORACION TIPO
DE LA ZONA D



- basalto de color pardo marrón profundamente meteorizado

- basalto afanítico marrón oscuro con pequeñísimas amígdalas verdes

PERFORACION TIPO
DE LA ZONA D₁



- suelo arenoso pardo graviloso

- areniscas mal seleccionadas con grava cuarzosa redondeada y subredondeada, arcillosas, de color pardo, y niveles conglomerádicos (en la base verdosas)

- limos y areniscas extremadamente finas, homogéneos y de color rosáceo amarillento claro

- basalto afanítico de color gris, fresco

- basalto alterado marrón con intercalaciones frecuentes de niveles rojizos

- basalto afanítico gris fresco

- basalto alterado, en niveles rojizos y marrones

- basalto afanítico gris, fresco

- basalto alterado marrón con niveles rojizos

- basalto afanítico gris, fresco

- basalto alterado de color marrón pardo

- basalto alterado rojo

//

- el caudal medio para los pozos de la Zona D, es de 6 a 7 m³/h
- el rasgo hidrogeológico más importante de esta Zona, es la posibilidad de obtención de pozos de caudales muy elevados

Para la Zona D₁ pueden señalarse en particular los siguientes rasgos:

- por regla general las perforaciones dan agua en profundidades comprendidas entre 20 y 60 m, aunque a veces resulta bastante mayor
- los niveles de contribución ocurren generalmente a profundidades inferiores a 60 m, aunque se han observado también a mayor profundidad (especialmente en perforaciones de caudal elevado)
- el caudal medio de esta Zona es de 8 m³/h
- la distribución homogénea revelada por el histograma de caudales, sugiere que la Zona D₁ no presenta una fracturación muy intensa, por lo que debe atribuirse el relativamente elevado caudal medio, a la importante zona de recarga representada por el Río Uruguay
- caudales muy elevados han sido observados en Salto (del orden de 20 m³/h), y en Bella Unión, que en cierta medida es común a las Zonas D y D₁

Puede señalarse que la aplicación de métodos más racionales para la localización de pozos, puede determinar medias de caudales bastante más elevadas.

En la página 73, se presentan las perforaciones características de estas Zonas, en perfiles litológicos acompañados de las correspondientes descripciones, señalándose además niveles de contribución, etc.

6.23 - Provincia Cretácea

La Provincia Cretácea se desarrolla extensamente en el W del país, cubriendo áreas de sustrato basáltico en el N y Cristalino en el S. Esta Provincia, en la porción que recubre al basalto, se presenta en forma de un grosero monoclinal que buza suavemente hacia el SW. Las características geológicas de ésta, ofrecen la posibilidad de subdividir el área en dos Zonas, en función de la existencia o no de la Formación Mercedes en las mismas.

6.231 - Zona E

Esta Zona corresponde al área de ocurrencia de la Formación Mercedes que constituye el mejor acuífero de esta Provincia.

Las características de esta Zona están determinadas por condiciones litológicas en primer lugar, y secundariamente por condiciones estructurales.

En general se carece de datos cuantitativos satisfactorios relativos a esta Zona por lo que sólo pueden señalarse algunos rasgos generales de la misma. En tal sentido puede establecerse:

//

- dado que la Formación Mercedes se encuentra encajada entre formaciones poco permeables, y que presenta un buzamiento regional más o menos constante, puede considerársele como un acuífero confinado sin área de exudación
- toda la Zona E permite recarga por infiltración, aunque probablemente pueda señalarse una mayor recarga a través del borde N de la misma
- el flujo que percola de las capas superiores menos permeables, puede dar una contribución relativamente importante
- en líneas generales la circulación se realiza de NE a SW acompañando el buzamiento de los estratos
- las capas de mayor importancia desde el punto de vista hidrogeológico, están determinadas por los estratos de arenas gruesas casi sin cementación
- los rendimientos que pueden obtenerse en esta Zona son variables, pudiendo llegar a un máximo del orden de los 15 - 20 m³/h, con posibilidades de artesianismo semisurgente

En la página 76, se presenta una perforación característica de esta Zona, con el perfil litológico completo, descripciones y datos de entrada de agua.

6.232 - Zona F

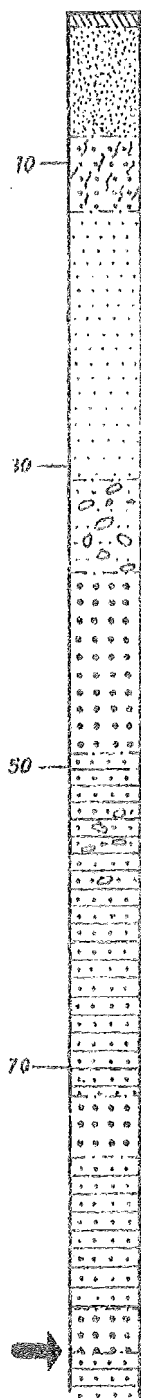
Esta Zona corresponde a las partes de la Provincia Cretácea en que no se verifica la ocurrencia de la Formación Mercedes por efecto de la erosión o por razones de deposición primaria. Esta Zona se extiende al N de la Zona E, con límite determinado por el contacto de las formaciones Guichón y Mercedes, teniendo como límite N, el contacto de la Formación Guichón con el basalto (ver Mapa de Zonas de Posibilidades Hidrogeológicas).

Los elementos que caracterizan a esta Zona son de naturaleza litológica. En general, debe ser considerada como un área de características irregulares, con relativamente pequeño valor Hidrogeológico, tanto desde el punto de vista de seguridad de agua como de caudal.

Pueden señalarse en especial las siguientes características para definir esta Zona:

- el acuífero está formado por sedimentos arenosos con alto tenor de arcillas montmorilloníticas, con un espesor máximo del orden de los 100 m, que disminuye hacia el N por efecto de la erosión
- la circulación en estas areniscas es bastante pobre, localmente mejorada por niveles conglomerádicos
- los sedimentos silicificados se presentan como extremadamente impermeables
- en estos últimos puede ocurrir una circulación

PERFORACION TIPO
DE LA ZONA E



- loess o areniscas muy finas bien seleccionadas calcáreas, rosadas (Form. Fray Bentos)
- areniscas siliciferrificadas rojas (Form. Asencio)
- arenisca de grano medio a fino, muy arcillosas masivas blancas (Form. Asencio)
- areniscas de grano medio a fino, muy arcillosas masivas, algo amarillentas (Form. Asencio)
- areniscas conglomerádicas con detritos feldes páticos y matriz arenosa fina (Form. Mercedes)
- areniscas gruesas (Form. Mercedes)
- areniscas conglomerádicas (Form. Mercedes)
- areniscas medias arcólicas (Form. Mercedes)
- areniscas gruesas bien seleccionadas (Form. Mercedes)
- areniscas gruesas bien seleccionadas (Form. Mercedes)

//

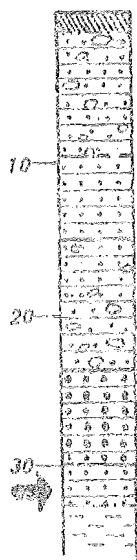
por las diaclasas, lo que en caso de constatarse llevará a la aplicación de las técnicas desarrolladas para rocas fisuradas

- no es segura la obtención de pozos positivos en las areniscas de esta Zona
- los caudales medios son generalmente bajos
- en general la calidad del agua es pobre, tanto por la dureza que con frecuencia tiende a ser elevada, como por la presencia frecuente de sólidos en suspensión

A título de ejemplo se presenta una perforación característica de esta Zona, en la que se da el perfil litológico completo, y datos de valor hidrogeológico. La localización de esta perforación puede verse en el Mapa de Zonas de Posibilidades Hidrogeológicas.

PERFORACION TIPO
DE LA ZONA F

(de 1 a 36 m Formación Guichón)



- suelo
- areniscas finas, gravilosas, arcillosas, de color rosado
- arenisca fina con granos de arena gruesa angulosos, arcillosa, friable, blancuzca
- arenisca fina a media de selección regular, arcillosa friable, blancuzca amarillenta
- arcosa de grano medio a grueso, friable
- arena fina bien seleccionada blanca
- lutita calcárea roja

VII. CONCLUSIONES GENERALES

De los hechos e inferencias ennumerados en el transcurso de este trabajo, quedaron establecidas las siguientes conclusiones generales:

- A.- quedó claramente demostrado que la circulación principal en los basaltos se realiza a través de las líneas de disyunción, con estrecha relación con la tectónica que afectó al área considerada
- B.- en base a esta conclusión definitiva, las técnicas de localización de pozos para agua subterránea en áreas basálticas se deben orientar en el sentido de definir las principales líneas de diaclasamiento, en base a los siguientes criterios
 - interpretación de fotos aéreas cuando disponibles, procurando el reconocimiento de todas las líneas tectónicas de la zona
 - determinación de los puntos de cruce entre las diaclasas de mayor frecuencia con la de mayor longitud; a este efecto deben tenerse presente si es posible, los diagramas de frecuencia y de longitudes establecidos en este trabajo
 - en caso de fracturamiento homogéneo y espaciado, se deben procurar los puntos de cruce de las fracturas de mayor extensión
 - en todos los casos, debe ponderarse el efecto de la importancia relativa del drenaje superficial encajado en las distintas líneas de fractura
 - si no se dispone de fotos aéreas, el estudio deberá hacerse en el campo mediante el levantamiento de las direcciones más frecuentes de las diaclasas encajadas por líneas de drenaje, teniendo en cuenta para la localización los criterios anteriormente establecidos
- C.- quedaron definidas las siguientes unidades, integrantes de una zonación primaria:
 - PROVINCIA TACUAREMBO
 - PROVINCIA BASALTICA
 - Zona A
 - Zona B
 - Zona C
 - Zona D y D₁
 - PROVINCIA CRETACEA
 - Zona E
 - Zona F

RECOMENDACIONES

A pesar del gran volumen de datos manejados para el estudio y elaboración del presente trabajo, estamos apenas en el punto de partida para el desarrollo de estudios Hidrogeológicos sistemáticos en rocas fracturadas. Quedan entre otros, los siguientes problemas a ser resueltos en un futuro inmediato:

- A.- establecer la correlación existente entre rendi-

//

miento de los pozos en basalto, y posición respecto a fracturas, extensión de las mismas, naturaleza e importancia del drenaje superficial encajado en estas fracturas, etc.

- B.- definir las áreas de recarga de los basaltos, a través de la instalación de una Cuenca Experimental, donde las observaciones climato fluviométricas sean complementadas con observaciones Hidrogeológicas cuantitativas
- C.- aquilatar el real valor del zoneamiento Hidrogeológico aquí propuesto
- D.- realizar una evaluación estadística de datos censales, a través de un catastro de pozos lo más completo posible, a fin de definir con precisión las Zonas que se establezcan con carácter definitivo
- E.- una vez contemplados los aspectos anteriores, se debe procurar una cuantificación de los acuíferos, y su definición en napas de direcciones de líneas de flujo

VIII. BIBLIOGRAFIA

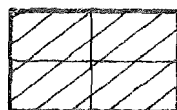
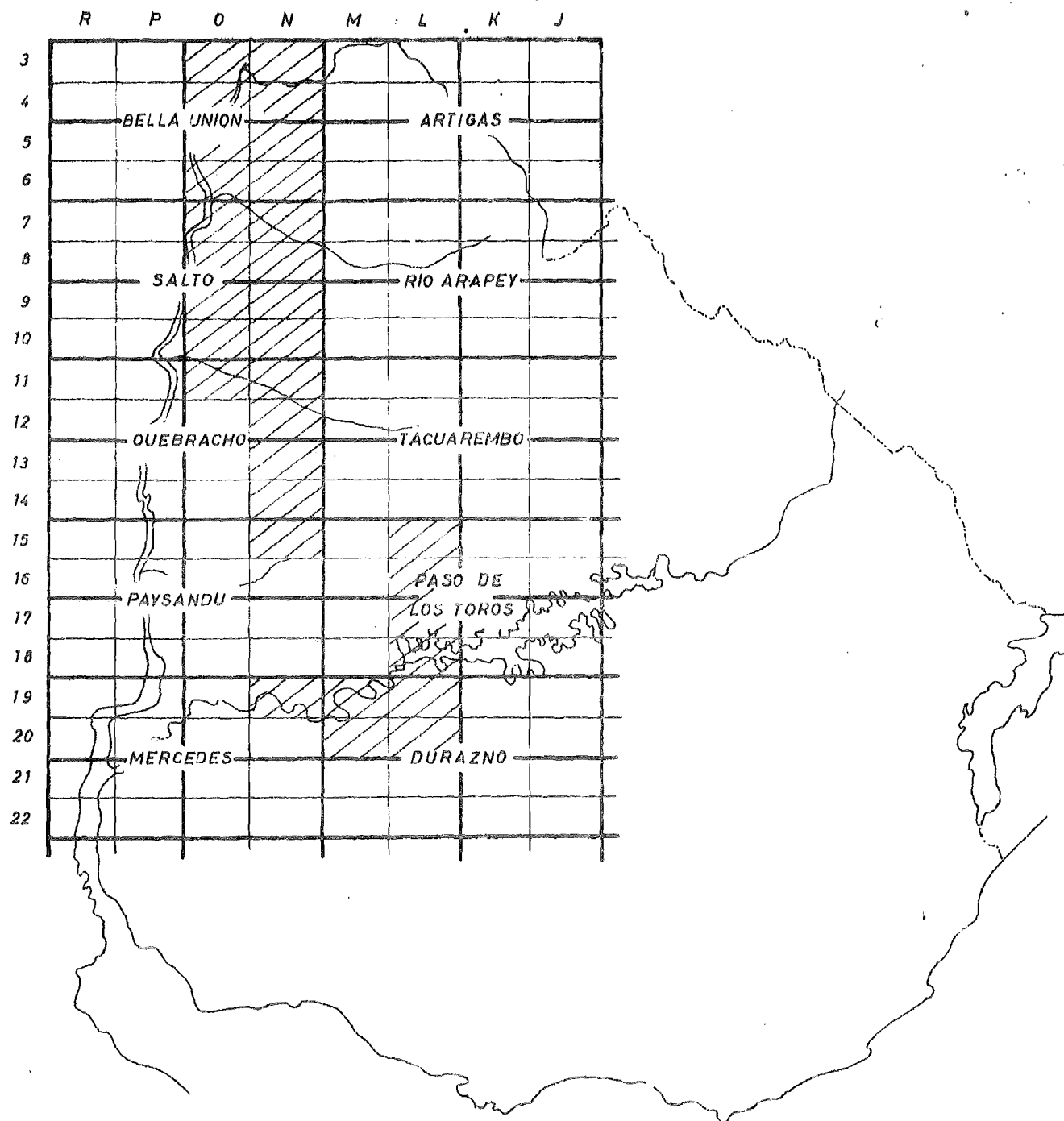
- | | |
|--|---|
| BELOUSSOV V. | 1962.- <u>Basic Problems in Geotectonics.</u>
Mc Graw Hill Book Comp. N.Y. |
| BILLINGS M.P. | 1963.- <u>Geología Estructural.</u> EUDEBA |
| BOSSI J., N/ CHEBATA-
ROFF Y J. LOPARDO | 1963.- <u>Contribución al estudio del horizonte de Guichón.</u> Bol. Fac. Agr. N° 69 |
| BOSSI J. | 1966.- <u>Geología del Uruguay.</u> Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República (Uruguay) |
| BUBNOFF S. Von | 1963.- <u>Fundamentals of Geology.</u> Oliver & Boyd, Edinburgh, London |
| BUQUET L. | 1943.- <u>Orientaciones generales para la Investigación de Aguas Subterráneas en la República.</u> Inst. Geol. Urug. Mem 1 |
| CAORSI J. y J.C. GOÑI | 1958.- <u>Geología Uruguaya.</u> Bol. Inst. Geol. del Urug. N° 37 |
| CASTAGNINO W.A. | 1966.- <u>Estudios sobre los recursos Hidráulicos del Uruguay.</u> CEPAL, Programa de Recursos Naturales y Energía |
| CASTANY G. | 1963.- <u>Traité Pratique des Eaux Souterraines.</u> DUNOD, París |
| CORDINI I.R. | 1949.- <u>Contribución al conocimiento de la Geología Económica de Entre Ríos.</u> Direcc. Gen. de Ind. Min. (Argentina), Anales II (N° 87 M.I.C.). |

//

- DENISOV N.Ya. 1957.- Engineering Geology and Hidrogeology. State Publishing House for Architecture and Building Literature, Moscow (translated from Russian by National Science Foundation, Wáshington D.C.)
- DeSITTER L.U.
FERNANDEZ A. y A. TE-
CHEIRA 1957.- Geología Estructural. Omega
- FLANAGAN J.E. 1966.- Geología del Área Fray Bentos - Mercedes. Edit. por la Cát. de Geol. de Fac. de Agron. (Impres. mimeog.)
- 1966.- The Water Resources of Uruguay. CEPAL, Natural Resources and Energy Program
- HAUSMAN A. 1962.- Aspectos Hidrogeológicos das Areas Basálticas do Río Grande do Sul. Anales de las Primeras Jornadas Geológicas Argentinas. T. II, p. 104-136
- 1966.- Comportamento do freático nas áreas basálticas de Río Grande do Sul. Bol. Paranaense de Geogr. Nº 18/19, p. 177-213
- KÖPPEN W. 1948.- Climatología. Fondo de Cultura Económica (México)
- LAMBERT L.R. 1948.- Informe Geológico Relacionado con un Proyecto de dique de Embalse del Río Uruguay en Salto Grande. Bol. Dir. de Min. y Geol., Nº 63 (Argentina)
- LUEDER D.R. 1959.- Aerial Photographic Interpretation. Mc Graw Hill Book Comp. N.Y.
- MACKINNON J. 1966.- Informe General de Estudios y Trabajos realizados por ANCAP en Investigaciones para Petróleo. Dep. de Inv. y Des. (ANCAP, Uruguay)
- ORECCHIA H. 1966.- Los Climas del Uruguay según la nueva Clasificación de Thorenthwaite. Edit. por Dep. de Suelos de Fac. de Agron. (Impres. mimeog.)
- RAY E.G. 1960.- Aerial Photographs in Geologic Interpretation and Mapping. Geol. Surv. Prof. Paper 373 (Wáshington)
- RICCI M. y S. PETRI 1965.- Principios de Aerofotogrametría e Interpretação Geológica. Comp. Edit. Nac., S.Paulo (Brasil)
- WALTER K. 1927.- Contribución al conocimiento de las Rocas Basálticas de la formación de Gondwana en la América del Sur. Bol. Inst. Geol. y Perf. Nº 9
- SIQUEIRA L. 1963.- Contribução da Geología a Pesquisa de água Subterrânea no Cristalino. SUDENE (Recife)

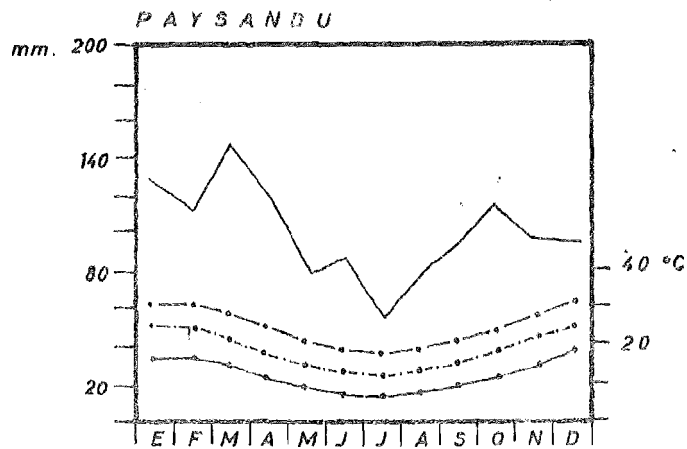
A P E N D I C E

CARTA de Distribucion de FOTOINDICES



FOTOINDICES ANALIZADOS

(Zonas estudiadas)



DATOS CLIMATICOS DE LAS
ESTACIONES METEOROLOGICAS
DEL AREA BASALTICA

Referencias

△ Precipitacion media mensual (mm.)
 — Temperatura max. Media mensual (°C)
 — " " " " "
 — " minima " " "

